

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Горного дела, геологии и геотехнологий
институт
Горные машины и комплексы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.В. Гилев
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2017 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04 «Горное дело»
специальность

21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»
Специализация

Анализ конструкции привода рабочего органа бурового станка
и разработка адаптивной подающей системы

Руководитель	_____	_____ <u>ст. преп.</u>	<u>И.Р. Белозеров</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Науч. конс.	_____	<u>проф., д-р техн. наук</u>	<u>А.В. Гилев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Д.В.Сорокин</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	_____
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Консультанты:			
<u>Экономическая часть</u>			<u>А.Д. Бурменко</u>
наименование раздела	_____		инициалы, фамилия
<u>Безопасность</u>			
<u>жизнедеятельности</u>			<u>Н.М. Капличенко</u>
наименование раздела	_____		инициалы, фамилия
<u>Нормоконтролер</u>			<u>И.Р. Белозеров</u>
	_____		инициалы, фамилия
	подпись, дата		

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Горного дела, геологии и геотехнологий

институт

Горные машины и комплексы

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.В. Гилев

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломной работы

инициалы и фамилия

инициалы и фамилия студента

« » _____ 20 ____ г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. Анализ конструкций буровых станков	7
1.1 Станки шарошечного бурения.....	7
1.2 Станки вращательного бурения резанием.....	19
1.3 Станки комбинированного бурения.....	21
1.4 Буровой инструмент для вращательного бурения.....	26
1.5 Сравнительный анализ характеристик рабочих органов буровых станков.....	45
2. Разработка адаптивного электромагнитного механизма подачи рабочего органа бурового станка на основе линейного асинхронного двигателя.....	51
2.1 Анализ конструкций и применения линейных электродвигателей для адаптивной системы подачи бурового станка.....	51
2.2 Расчет и обоснование режимных параметров электромагнитного механизма подачи рабочего органа бурового станка на основе линейного асинхронного двигателя.....	61
3. Безопасность жизнедеятельности	73
3.1 Правила безопасности при проведении буровых работ.....	73
3.2 Общие требования безопасности при эксплуатации буровых установок.....	74
3.3 Оперативное обслуживание. Осмотры электроустановок.....	75
3.4 Порядок и условия производства работ.....	77
3.5 Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.....	79
3.6 Работа в зоне влияния электромагнитного и магнитного полей.....	80
4. Экономическая часть.....	83

4.1 Расчет затрат на изготовление и создание стенда	83
4.2 Расчет заработной платы рабочих.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	88

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность на современном этапе характеризуется интенсивным развитием открытого способа разработки полезных ископаемых.

Буровзрывные работы находят все более широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Оставаясь основным средством отделения от массива и дробления горных пород при добыче полезного ископаемого, буровзрывные работы успешно применяются при строительстве плотин и выемок различного назначения, при разведке полезных ископаемых, при исследовании строения земной коры, при проходке нефтяных и газовых скважин, в машиностроении для сварки металлов, упрочнения и штамповки деталей и т.д.

В общем технологическом комплексе производственных процессов горного предприятия буровзрывные работы определяют производительность погрузочно-транспортного оборудования и в конечном итоге – себестоимость добываемой продукции.

1. Анализ конструкций буровых станков

На карьерах России применяют буровые станки типа СБШ (станок буровой шарошечный), СБР (станок бурения резанием), СБУ (станок буровой ударно-вращательного действия) и комбинированные (в типаже обозначенные СБУШ), рассчитанные на использование шарошечных, режущих, пневмоударных и других буровых инструментов. Есть также станки СБШ-250 МНР, предназначенные для шарошечного бурения взрывных скважин с последующим расширением их заряжаемой части термическим расширителем с мощной высокотемпературной огнеструйной горелкой воздушно-керосинового и других типов.

1.1 Станки шарошечного бурения

Начиная с 60-х годов прошедшего столетия наибольшее развитие на отечественных карьерах получили станки шарошечного бурения. На основе исследований ИГД им. А.А. Скочинского, МГГУ и Челябинского филиала ВУГИ (преобразованного затем в ЧНИИГД и НИИОГР), и на базе испытаний целого ряда экспериментальных моделей шарошечных станков были созданы опытно-промышленные образцы двух характерных типов: БСШ-1 (институт “Гипроуглеавтоматизация”) и СВБК-150 (Коркинский экскаваторо-вагоноремонтный завод совместно с Челябинским филиалом ВУГИ, 1957 г.). Станок БСШ-1 лег в основу серийного станка СБШ-200. На основе станка СВБК-150 была выпущена крупная партия станков СВБК-200, которые успешно эксплуатировались на угольных разрезах более 15 лет. Примененная на станках СВБК-150 и СВБК-200 канатно-полиспастная схема механизма подачи была принята в буровом станке СБШ-250, а затем на станке СБШ-320. Так образовались две базовые модели станков шарошечного бурения СБШ-200

и СБШ-250, которые проходят длительный этап эволюционного развития до сих пор. Эти станки отличаются принципом построения вращательно-подающих механизмов (ВПМ), определяющим конструктивный облик и технологические особенности (возможности) станка.

Станки группы СБШ-200 имеют роторно-патронную схему ВПМ с нижним стационарным расположением вращателя, передачей осевого усилия и крутящего момента на образующую бурильной штанги через зажимной патрон (рис. 1.1).

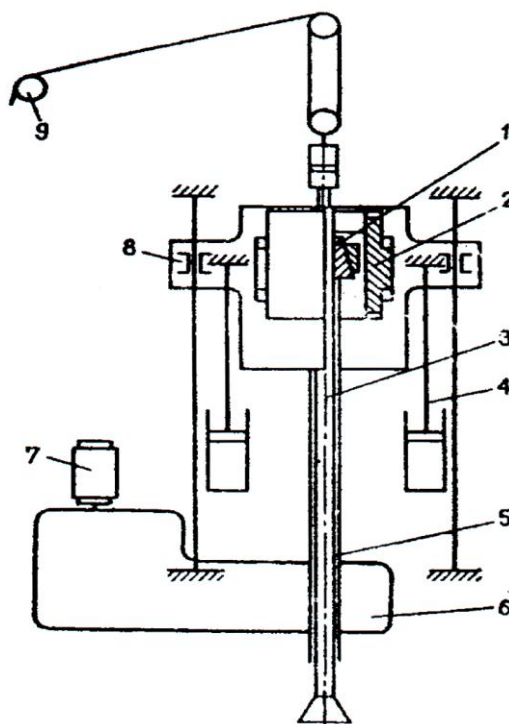


Рисунок 1.1 - Кинематическая схема вращательно-подающего механизма станка 2СБШ-200Н: 1 – зажимные кулачки; 2 – зажимной патрон; 3 – штанга, 4 – шток гидроцилиндра подачи; 5 – пустотелый шпиндель гидropатрона; 6 - вращатель (редуктор); 7 – электродвигатель постоянного тока ДПВ-52; 8 – траверса; 9 – лебедка с трехкратным полиспастом для подъема бурового става

Усилие подачи создается двумя гидроцилиндрами, питающимися от одного или двух насосов нерегулируемой производительности с предохранительным клапаном. К преимуществам такой схемы относятся: стационарность привода вращателя, возможность значительного облегчения

мачты, большая устойчивость станка при передвижении. К недостаткам – ограниченность величины осевой нагрузки и крутящего момента из-за проскальзываемых кулачков патрона (особенно в зимних условиях); большие затраты времени на вспомогательные машинные операции; невозможность применения штанг различных диаметров и тем более шнековых штанг.

Станки группы СБШ-250 имеют схему передачи осевого усилия и крутящего момента на торец штанги от шпинделя (с гидромuftой) редуктором вращателя, который перемещается вдоль мачты канатным полиспастом. Усилие подачи создается от двух гидроцилиндров (рис. 1.2).

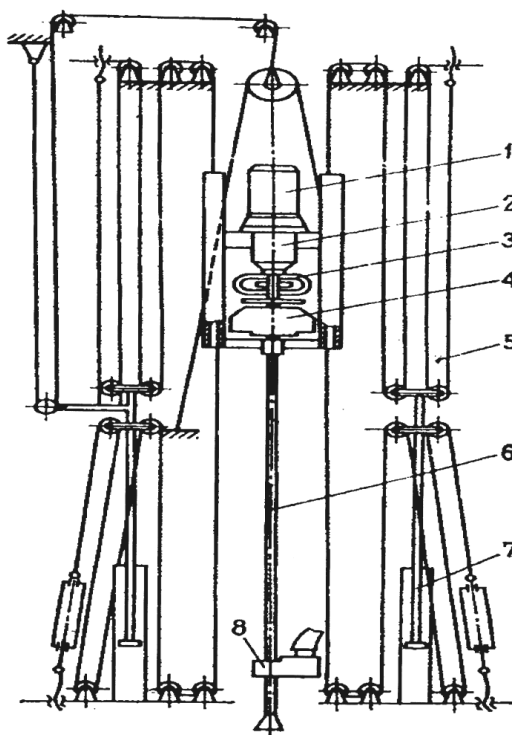


Рисунок 1.2 - Кинематическая схема вращательно-подающего механизма станка СБШ-250МН-32: 1– электродвигатель постоянного тока; 2- редуктор вращателя; 3 – шинно-шлицевая муфта; 4 – опорный узел; 5- четырехкратная канатно-полиспастная система подачи; 6 – колонна вращающихся штанг; 7 – гидроцилиндр подачи; 8 – механизм свинчивания-развинчивания штанг

К преимуществам торцевой (шпиндельной) схемы относятся: простота, надежность, возможность создания больших осевых усилий и крутящих

моментов, а также благоприятность применения штанг (трубчатых и шнековых) и долот различного диаметра. Недостаток схемы - необходимость утяжеления мачты, по которой должен перемещаться тяжелый крупный вращатель, что обуславливает значительную массу станков, периодические перемещения на большую высоту пневматических, гидравлических шлангов и электрических кабелей и др.

Применяемые на станках типоразмеров СБШ -200 и СБШ-250 гидроприводы подачи, состоящие из маслонасоса нерегулируемой производительности с предохранительным клапаном и гидроцилиндров с дросселем на сливе, имеют жесткие (неэластичные) характеристики, что необходимо учитывать при разработке и оценке режимов бурения пород средней крепости и слабых в особенности режущими долотами. Более благоприятны системы подачи с тяговой лебедкой, как это имеет место на станках СБШ-250/270 (РД-10) и СБШ-320. Стойкость буровых долот при системе подачи с тяговой лебедкой оказывается более высокой.

Создание и совершенствование отечественных буровых станков осуществлялось на основе их типоразмерного ряда для механического бурения взрывных скважин на открытых горных разработках (табл. 1.1).

Таблица 1.1 - Типы и основные параметры станков для бурения скважин на открытых работах

Наименование параметра	Норма для типоразмеров										
	СБШ-160	СБШ-200	СБШ-250	СБШ-320	СБШ-400	СБР-125	СБР-160	СБР-100	СБУ-125	СБУ-160	СБУ-200
1. Условный диаметр скважины, мм	160	200	250	320	400	125	160	100	125	160	200
2. Глубина бурения, м	35	55	75	110	150	10	25	4	10	30	40
3. Частота вращения долота (максимальная), об/мин	200	150	150	150	150	150	200	76	75	60	60
4. Нагрузка на долото (максимальная), кН	150	300	300	600	600	40	65-80	7	20	25	30
5. Энергия удара пневмоударника, Дж								90	150	280	420
6. Масса станка, т	35	55	75	110	150	10	25	4	10	30	40

По мере освоения конструкции СБШ типаж был расширен по нормативным показателям и моделям станков (табл. 1.2), в соответствии с которым был издан ряд модификаций станков двух указанных групп.

Таблица 1.2 - Типаж станков СБШ для бурения взрывных скважин на открытых горных работах

Модель базового станка	Д, мм	Н, м	а, град	Тк, ч	f	П, м/ч	М, кг/м ³	Э, МДж/м ³
Типоразмер СБШ-160.								
СБШ-160-46	160	48	0;15;30	9000	8-10	20	14,2	1080
Типоразмер СБШ-200.								
2СБШ-220-32	200	32	0	11000	8-10	20	7,2	936
4СБШ-200-40	200	40	0;15;30	11000	8-10	18	8,8	1026
2СБШ-200Н-40	200	40	0;15;30	11000	8-10	18	8,8	1026
3СБШ-200-60	200	60	0;15;30	12000	8-10	23	6,9	846
СБШ-200-55	200	55	0;15;30	15000	8-10	24	6,7	972
Типоразмер СБШ-250.								
СБШ-250-МНА-32	250	32	0;15;30	11500	12-14	15	7,7	1044
СБШ-250-20*	250	20	0;15;30	16500	12-14	22	4,3	828
СБШ-250-55	250	55	0;15;30	16500	8-10	22	3,28	745
Типоразмер СБШ-320.								
СБШ-320-36 (СБШ-320М)	320	36	0;15;30	20000	16-18	13	5,3	1548
Типоразмер СБШ-400.								
СБШ-400-55 (СБШ-320/380НС)	400	55	0;15;30	22500	10-12	25	2,3	1002
СБШ-400-20*	400	20	0;15;30	22500	10-12	29	2,6	864

*Примечание: Д – условный диаметр скважины; Н – глубина бурения; а – угол наклона скважины; Тк – ресурс до первого капитального ремонта; f – крепость горной породы; П – техническая производительность; М – удельная масса; Э – удельный расход электроэнергии при бурении; * - станки для бурения одной штангой длиной 20 м.

Совершенствование станков осуществляется в следующих направлениях: увеличение длины штанг до 12 – 20 м (в том числе возможность бурения одной штангой длиной 20 м), переход на питание приводов станка на высокое напряжение, широкое применение гидроприводов механизмов, совершенствование приводов вращателя и систем автоматического управления, применение кабельных барабанов, увеличение производительности компрессорных станций и т.д.

По станкам типоразмера СБШ-200 были изготовлены модернизации 2СБШ-200Н (2СБШ-200-32), 3СБШ-200-60, 4СБШ-200-40, 5СБШ-200-55. Из них наилучшие результаты имеют станки 2СБШ-200Н и 3СБШ-200-60, среднемесячная производительность которых на разрезах Кузбасса почти в два раза выше производительности более мощных станков СБШ-250МНА и СБШ-250-55 в тех же условиях. Остальные модернизации станков этого типоразмера не получили развития.

По станкам второй группы (типоразмер СБШ-250) самой отработанной является модель СБШ-250МНА-32, имеющая наибольшее распространение. Другие модификации этого станка (СБШ-250-36, СБШ-250-20, СБШ-250-55) пока не нашли широкого применения, либо сняты с производства (СБШ-250-55). Перечень станков, выпускаемых ОАО “Рудгормаш” (г. Воронеж) в настоящее время, показан в табл. 3.

Таблица 1.3 - Станки, выпускаемые ОАО “Рудгормаш”

Тип станка	Цена, дол. США
СБШ-250МНА-32 (24 исполнение)	349394
СБШ-250МНА-32 (с сухим пылеулавливанием)	369085
СБШ-250МНА-32 (высоковольтное питание)	386254
СБШ-190/250-60	378672
СБШ-РД-10-00	625964
СБШ-РД-10-02	821192
СБШ-РД-10-04	661411
СБШ-РД-10-08	625062

ОАО “Рудгормаш” выпущена небольшая партия станков СБШ-250/270 (РД-10), один из которых с 2001 г. эксплуатируется на ОАО “Черногорская угольная компания”, имеет измененную систему подачи (цилиндры подачи заменены лебедками) и переведен на высоковольтное применение.

Для бурения глубоких контурных скважин и технологических взрывных скважин, а также скважин специального назначения указанным выше предприятием выпущен станок СБШ-190/250-60.

Для бурения на уступах, представленных крепкими породами крупноблочного строения, а также на объектах транспортного, гидротехнического строительства и на карьерах небольшой производственной мощности нужен легкий станок типа СБШ-160. Существуют легкие станки этого класса, типов БТС-2, БТС-150, БТС-150М, смонтированные на тракторе и имеющие прицепной компрессор. Был создан опытный образец двухшпиндельного станка 2СБШ-160, не получивший развития. На некоторых карьерах для глубокого бурения скважин диаметром 110 - 125 мм использовали станки СБУ - 125 с погружными пневмоударниками, но их производительность была в два-три раза ниже, чем у шарошечных.

Фирмой “Транстехновация” и Московским университетом путей сообщения созданы опытные образцы станков СБШ-160 и БТС-150К с установленными на платформе компрессором и мачтой с механизированной сборкой-разборкой бурового става. Эти станки при использовании противовибрационных буровых ставов могут бурить с высокими скоростями вращения долот (табл. 4).

В 2002 г. ОАО “Рудгормаш” изготовил и поставил на испытания буровой станок СБШ-160 “Доломит”.

До настоящего времени окончательно не решена проблема создания конструкций станков тяжелого типа. На отдельных карьерах находятся в эксплуатации тяжелые станки для бурения скважин диаметром 320 мм с роторной схемой – БАШ-250 (320), с торцовой схемой – СБШ-320, опытные

модели станков “Руслан” на пневмоколесном ходу, СБШ-400 для долот диаметром 395 мм.

Таблица 1.4- Технические характеристики станков шарошечного бурения с повышенной скоростью вращения долота

Технические данные	БТС-150М	СБШ-160	БТС-160К
Диаметр скважины, мм	150	160	160;190
Глубина бурения, м	32	32	32
Максимальное усилие подачи, кН	120	10	180
Частота вращения бурового става, об/мин	130; 360	0 - 200	0 - 350
База станка	Трактор Т170М01	Трактор Т170М01	Тележка экскаватора ЭО-4225
Масса, т	21	25	35

Кинематическая схема ВПМ станка СБШ-320 показана на рис. 1.3. Такую же систему подачи имеет станок СБШ-РД-10. В станке СБШ-320 усилие подачи создается лебедками 10 и передается на опорный узел 4 через канат 14, огибающий последовательно несколько раз приводные барабаны лебедки 10. В период бурения усилие подачи создается гидромотором 7. Тяговое усилие в канатах возникает за счет их трения о барабаны. При спуско-подъемных операциях лебедка 10 работает от электродвигателя. Принятая система подачи имеет большую эластичность, чем у станков СБШ-200 и СБШ-250.

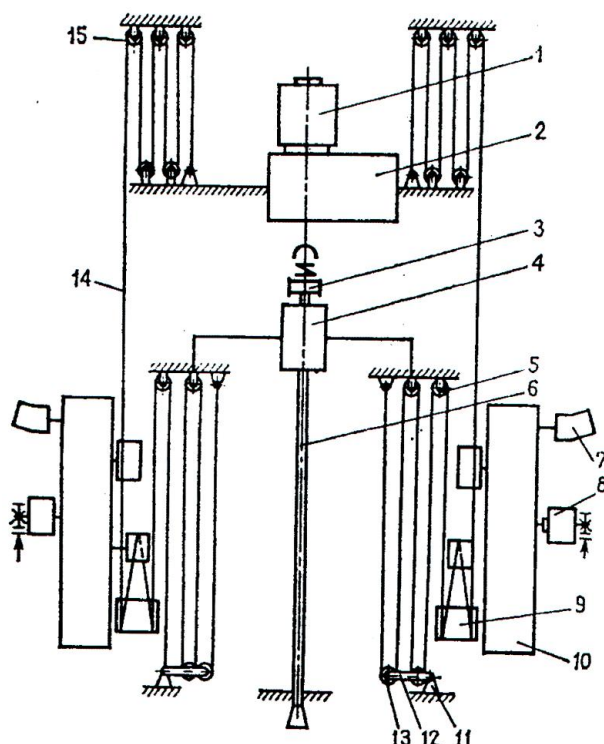


Рисунок 1.3 - Кинематическая схема вращательно-подающего механизма станка СБШ-320: 1 – электродвигатель; 2- редуктор; 3 – шинно-шлицевая муфта; 4 - опорный узел; 5 – блоки натяжных устройств; 6 – штанга; 7 – гидромотор; 8 – электродвигатель; 9 – приводной барабан, 10 – лебедка; 11 – натяжное устройство; 12 – рычаг; 13 – блоки натяжных устройств; 14 – канат; 15 – верхние блоки

Потребности отечественных карьеров в мощных буровых станках удовлетворялись приобретением зарубежных машин. На ряде угольных разрезов Кузбасса и Якутии станки 60R фирмы “Бюсайрус Ири” и М-4 фирмы “Марион” успешно работали более 15 лет, а на некоторых разрезах находятся в эксплуатации и сейчас. Сменная и месячная производительность этих станков была в 3 - 5 раз выше, чем отечественных СБШ-250МН и СБШ-320. Более высокая производительность зарубежных машин достигается, прежде всего, за счет качества изготовления, надежности, эффективности технического обслуживания и эксплуатации, применения электронных систем управления и диагностики.

Фирма “Бюсайрус Ири” (США) выполняет в основном мощные электроприводные шарошечные станки 47-R, 60-R, 65-R, 67-R и другие для

долот диаметром, главным образом, 273, 311, 381, 405 мм, массой 140 - 180 т, мощностью 600 - 770 кВт. Длина штанг составляет 15 - 19,8 м. Тип ВПМ шпиндельный (торцовый) с перемещением каретки вращателя вдоль мачты с помощью зубчато-реечного механизма. Станки 60/61-Р имеют реечно-цепную подачу.

Станки шарошечные фирмы “Марион” (США) имеют верхний электрический вращатель, цепную подачу, действующую от гидромоторов. На разрезе “Нерюнгринский” эксплуатировались станки М4-СС (диаметр долота 311 мм, три штанги длиной по 16,7 м, общая мощность 410 кВт, масса 120 т). На этом же разрезе в 1997 г. введен в эксплуатацию станок шарошечного бурения типа ДМ-Н фирмы “Ингерсол-Ранд” (США). Технические характеристики ДМ-Н показаны в табл. 1.5. Машины рассчитаны на возможность бурения скважин различного диаметра от 229 до 381 мм, они могут комплектоваться как дизельным, так и электрическим приводом, штангами длиной 13,7; 15,24; 16,7 и 19,8 м, компрессорами производительностью 29,7; 39,6 и 73,6 м³/мин. Вращение долота осуществляется от двух аксиальных поршневых гидравлических двигателей переменной производительности, мощностью по 231 кВт каждый. Скорость вращения плавно изменяется от 0 до 150 об/мин при максимальном моменте 17890 Н·м. Имеются системы мокрого и сухого пылеподавления, центральной смазки и пожаротушения, дистанционного управления перемещением установки, автоматического горизонтирования и бурения. Машинист работает с двумя системами управления: с экраном дисплея на жидких кристаллах и ручным терминалом. Системы легко переключаются с автоматического на ручное управление.

Тяжелые зарубежные станки имеют высокую стоимость (от 1,5 до 2,5 млн. долларов США и более). Стоимость отечественного станка РД-10 составляет 370 тыс. долларов США, а опытный тяжелый станок СБШ-320 производства Ижорского завода имеет стоимость 625 тыс. долларов США.

Однако, по мнению специалистов, несмотря на более высокую производительность и надежность в эксплуатации зарубежных машин (не менее чем в 4 - 5 раз) по сравнению с отечественными станками, расходы на обустройство 1 м³ пород будут примерно одинаковыми.

Таблица 1.5 - Сравнение показателей ряда станков фирмы “Ингерсол-Ранд” со станком СБШ-250

Показатели	СБШ-250	ДМ-М2	ДМ-Н
1	2	3	4
Диаметр скважины, мм	244,5; 270	229; 270	229-381
Глубина бурения, м	32	53,4	76
Угол наклона скважины, град.	0; 15; 30	0,5;10;20;30	0,5;10;20;25;30
Осевое давление на забой, кН	300	340	497
Частота вращения долота, мин-1	0-150	0-150	0-150
Момент на долоте, кН·м	6	11,7	17,6
Скорость вращения бурового снаряда, м/мин:			
подъем	7	25,6	до 20
спуск	8	25,6	до 20
Производительность, км/год	50	120	102 - 140
Установленная мощность, кВт	398	130	373
Длина штанг, м	8	10,7	9;13, 7;16,8;19,8
Масса, т	66-71	56,7	111

Подводя итог рассмотренных отечественных станков типа СБШ, следует отметить, что в эксплуатации находятся наиболее отработанные и серийные станки средней массы СБШ-200Н, ЗСБШ-200-60 и СБШ-250 МНА. Их основные параметры и характеристики даны в табл. 1.6. Станки СБШ-320 и СБШ-160 находятся в стадии освоения, имеется несколько опытных переходных моделей, работа над которыми не завершена.

Таблица 1.6 - Техничко-эксплуатационная характеристика станков типа СБШ

Показатели	Типы станков			
	СБШ-200Н (СБШ-200-32)	3СБШ- 200-60	СБШ-250- МНА	СБШ-320М (опытный)
Диаметр скважин, мм	215,9;244,5	215,9;244,5	244,5;269,9	320
Глубина бурения, м	32	60	32	36
Длина штанги, м	8	12	8/12	17,5
Ход непрерывной подачи, м	1	1	8	17,5
Усилие подачи, кН	250	300	300	500
Частота вращения, с ⁻¹	0,2-4	0,2-2,5	0,2-2,5	0-2,1
Мощность привода, кВт:				
-вращателя	52	68	68	100
-компрессора	150	200	200	400
Расход сжатого воздуха, м ³ /с	0,41	0,53	0,53	0,83
Масса станка, т	50	62	71,5	110
Среднемесячная производительность (на разрезах), тыс. м	2,6	5,3	3,8	2,5
Годовой объем работ	2,28	2,44	0,73	0,03

1.2 Станки вращательного бурения резанием

Обратимся к рассмотрению станков вращательного бурения резанием (СБР). Среди станков вращательного бурения резанием со шнековой очисткой скважин длительное время (даже к началу 80-х годов) основным являлся станок СББ-2М, созданный на основе станка СББ-2 и имеющий весьма низкую степень механизации. Станок СББ-2М имеет короткие шнеки (1,85 м), наращиваемые и разбираемые вручную. Осевое усилие на долото у первых моделей составляло всего 18 кН (СББ-2), затем 50 кН, число оборотов долота – 120 и 200 об/мин по условиям обеспечения шнековой очистки скважины.

Взамен станка СБВ-2М был создан станок СБР-160, а затем его модификация СБР-160А-24, в 3 раза тяжелее и 5 раз дороже своего предшественника (табл. 1.7). Длина штанги была увеличена до 8,25 м, усилие подачи увеличено до 80 кН. Трудоемкие операции по сборке-разборке бурового става облегчились, но не исключили ручных операций из-за сохранения пальцевого соединения штанг. Производительность выросла незначительно, а себестоимость бурения возросла в 1,5 - 2 раза. Модернизированный вариант станка СБР-160А-24, выпускаемый под маркой СБР-160Б-32, имеет глубину бурения до 32 м и оснащен кабельным барабаном.

Более совершенным является станок 2СБР-160-24, рассчитанный на применение высокомоментного гидродвигателя вращателя. Используются укороченные шнековые штанги длиной 4 м с резьбовым соединением, что позволило полностью механизировать процесс сборки-разборки бурового става, как и в станках типа СБШ. Эти станки могут переоборудоваться для использования шнекопневматической очистки скважин с подачей сжатого воздуха на забой скважины через внутренний канал штанг от компрессора. Совершенствование станков СБР продолжается. Конкуренцию им составляют рассмотренные выше станки типа БТС и осваиваемый станок СБШ-160.

Таблица 1.7 - Техническая характеристика станков вращательного бурения резанием

Показатель	СБР-160А-24	СБР-160Б-32	2СБР-160-24	СБВ-2М
1	2	3	4	5
Диаметр скважины, мм	160	160	160	160
Глубина скважины, м	24	32	24	25
Направление бурения к вертикали, град	0;15;30	0;15;30	0;15;30	0
Частота вращения долота, с-1	1,7;2,2;3,3	1,7;2,2;3,3	0,7;1,4;2,1;3	2;3,3
Длина штанги, м	8	8	4	1,85

Продолжение таблицы 1.7

Показатель	СБР-160А-24	СБР-160Б-32	2СБР-160-24	СВБ-2М
1	2	3	4	5
Установленная мощность, кВт	184	184	112	72
Мощность вращателя, кВт	36/40/50	36/40/50	-	40
Крутящий момент, кН.м	12	12	-	10
Усилие подачи, кН	80	80	70	50
Скорость подъема става, м/с	0-0,05	0,05	0,09	0-0,16
Скорость опускания става, м/с	0,5	0,5	0,37-0,53	-
Масса, т	25	35	18	9,25

1.3 Станки комбинированного бурения

Практические работы по созданию станков комбинированного бурения начали интенсивно развиваться в угольной промышленности в связи с освоением Канско-Ачинского угольного бассейна. Принципы комбинированности заключаются в применении на одном станке не только различных способов бурения (шарошечного, режущего и ударно-вращательного), но и различных способов очистки скважин (шнекового, пневматического и шнекопневматического). Новый подход к созданию буровых станков обусловлен необходимостью повышения эффективности бурения скважин в сложноструктурных массивах горных пород, а в настоящее время становится одним из перспективных направлений развития буровой техники для карьеров.

В Канско-Ачинском угольном бассейне, где во многих вскрышных уступах, в толще водонасыщенных, вязких глинистых фракций, залегают линзы и прослои крепких песчаников (мощностью от 0,3 до 6 м) с $f = 6 - 12$, шарошечное бурение даже с многократным увеличением крутящего момента и повышенным расходом сжатого воздуха не дает хороших результатов. Вынос

из скважины влажных и липких пород при глубине скважины 2 - 3 м не происходит и бурение прекращается. Бурение станками СВБ-2М и СВБ-2 в этих условиях также не эффективно (низка их производительность, высок расход бурового инструмента и интенсивный рост мощности вращателя с увеличением глубины скважины). Производительность этих шнековых станков при наличии включений крепких песчаников ($f = 10$) 75, 50 и 25 % составляла соответственно 14, 30 и 50 м/смену. В 1966 г. НИИОГРом на разрезе “Ирша-Бородинский” были проведены первые промышленные эксперименты по бурению скважин на сложноструктурных уступах с шнекопневматической (шнековоздушной) очисткой скважин. Для экспериментов использовали станок СВБК-200, переоборудованный для бурения как со шнековыми штангами с каналами для подачи сжатого воздуха, так и с гладкоствольными. Бурение велось шарошечными и режущими долотами (типа ДР и ДРВ) диаметром 190-214 мм при различных комбинациях способов очистки скважин и производительности компрессоров 9, 12 и 17 м³/мин. Осевая нагрузка на долото изменялась от 20 до 120 кН, а частота вращения – от 80 до 124 мин⁻¹. Величины режимных параметров, скорость проходки и мощность вращателя фиксировались в процессе бурения на самопишущих приборах. Результаты экспериментального бурения представлены на рис. 1.4.

Наиболее рациональным по скорости бурения и удельной энергоемкости оказался шнекопневматический способ очистки скважин с помощью специальных шнеков диаметром 190 мм, имеющих центральный продувочный канал и герметически соединенных между собой. При бурении устанавливались силовые режимы бурения (высокие осевые нагрузки и умеренные числа оборотов долота). Режущие долота образовывали крупные частицы породы пластинчатой формы, а шарошечные (типа ТК) – частицы меньших размеров, форма которых приближается к изометрической. В исследованных условиях по скорости бурения и мощности шнекопневматическая очистка намного эффективнее пневматической в слабых и влажных породах, при переходе в

крепкие породы разница по мере роста глубины бурения уменьшается.

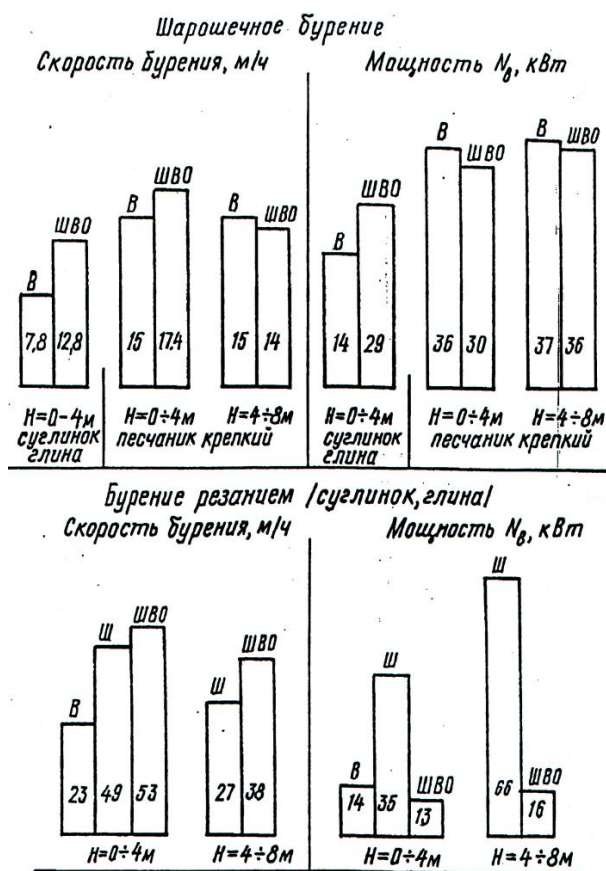


Рисунок 1.4 - Сравнение способов бурения на разрезе “Ирша-Бородинский ” при пневматическом (воздушном) В, шнековом Ш и шнекопневматическом ШВО способах очистки скважины (промышленные эксперименты на станке СБШК-200): а – шарошечное бурение; б – бурение резанием (в суглинках и глинах)

На базе выполненных исследований были созданы и приняты к производству новые станки комбинированного бурения СБШК-200 (рис. 1.5) и 2СБР-125 (рис. 1.6). Станки СБШК-200 и 2СБР-125 имеют гидравлические вращатели с увеличенными величинами мощности и крутящего момента и рассчитаны на силовое резание горных пород. У станка СБШК-200 удельная нагрузка на долото составляет 9,3 кН/см против 1,2 кН/см у станка СББ-2М. Впоследствии принцип комбинированности способов бурения, а затем и способов очистки скважин, нашел отражение в станках БТС-150, БТС-500 и других, применявшихся на горных работах при строительстве БАМ.



Рисунок 1.5 - Комбинированный буровой станок СБШК-200

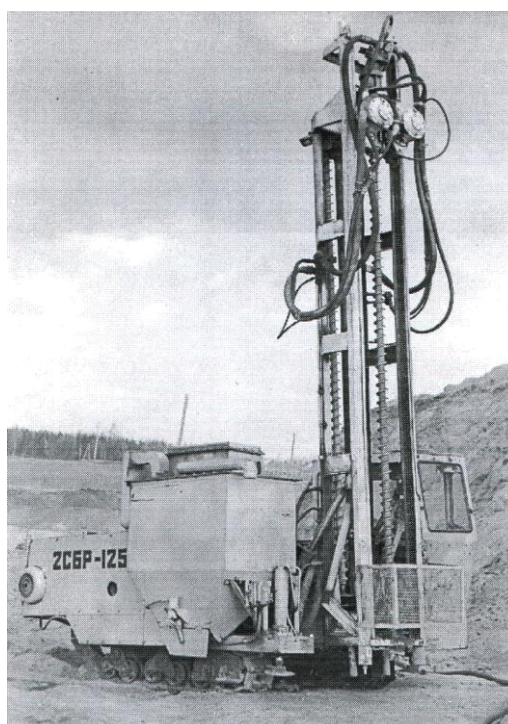


Рисунок 1.6 - Комбинированный буровой станок 2СБР-125

Параметры и показатели станков комбинированного бурения даны в таблице 1.8.

Таблица 1.8 - Основные параметры и показатели станков комбинированного бурения

Показатели	Новые станки		Прежний станок
	СВБК-200	2СБР-125	СВБ-2М
Диаметр долота, мм	190; 214	118; 125	160
Глубина бурения, м	до 50	до 30	до 25
Длина штанги, м	12	4,2	1,85
Осевая нагрузка, кН	до 200	до 45	-
Частота вращения долота, мин-1	до 180	до 340	120-200
Расход сжатого воздуха, м3/с	0,416	0,11	-
Номинальный крутящий момент на долоте, кН.м	4,4-9,7	1,6	10
Установленная мощность, кВт	337	98	72
Диаметр штанг, м:			
гладкой	168	95	-
шнековой	208	120	155
Способ очистки скважины *	Ш, П, ШП	Ш, П, ШП	Ш
Тип бурового инструмента **	Р, Ш, К	Р, Ш, К	Р
Масса станка, т	48,2	12	9,85
Производительность, м/смену	140-270	135-260	50,2 ***
Стоимость бурения, %	68	31	100

Примечание: * - Ш – шнековый; П – пневматический; ШП – шнекопневматический; ** - Р – режущий; Ш – шарошечный; К – комбинированный; *** - при 60 % включений.

Исследования Н.Н. Мотыля (1978г.) показали, что шнекопневматическая очистка скважин имеет ряд преимуществ при бурении и в неосложненных условиях. Он предложил применять шнекопневматическую очистку в режиме псевдоожижения бурового шлама в забойном пространстве скважины, что существенно повысило скорость бурения и снизило энергоемкость шнековой очистки. Этот способ привлекателен и тем, что при поддержании режима псевдоожижения (в отличие от режима пневмотранспорта) буровой мелочи в пределах скважины можно исключить необходимость установки на станке

громоздкой системы пылеулавливания.

Большой объем исследований по бурению скважин со шнеко-пневматической очисткой проведен под руководством проф. Б.А. Катанова. Известны работы в этой области Ю.Е. Воронова, Е.М. Каракулова, В.И. Кузнецова, М.П. Латышенко. Обобщая результаты этих работ, следует отметить, что шнекопневматическая очистка скважин по сравнению со шнековой повышает стойкость бурового инструмента и скорость бурения, снижает потребляемую мощность, а по сравнению с пневматической очисткой (при трубчатых штангах) требует меньшего расхода сжатого воздуха и снижает энергоемкость бурения. В осложненных горно-геологических условиях шнекопневматическая очистка скважин особенно эффективна, а иногда является незаменимой. Вместе с тем шнекопневматическая очистка скважин еще не нашла широкого применения. Это объясняется не только известным консерватизмом и организационной нестабильностью перехода к рыночной экономике, но и незавершенностью исследований в этом направлении с экономической стороны, особенно в области скважин большого диаметра (250 - 320 мм) в крепких породах.

1.4 Буровой инструмент для вращательного бурения

Буровой инструмент для вращательного бурения на карьерах представлен шарошечными долотами, режуще-шарошечными долотами РШИ, режущими долотами для шнековых станков, режущими долотами для станков СБШ и различными комбинированными снарядами.

Шарошечные долота

Рассмотрение шарошечных долот необходимо для установления области рационального применения бурения резанием и для корректировки конструкций и параметров вращательно-подающих органов станков вращательного бурения.

В связи с большим разнообразием механических и абразивных свойств горных пород и руд изготавливается большой набор типов шарошечных долот, отличающихся по диаметру, виду, породоразрушающего вооружения, опор и продувочных устройств. В зависимости от условий проходки скважин изготавливаются более десятка (по вооружению) типов шарошечных долот для бурения как глубоких, так и взрывных скважин (табл. 1.9).

Таблица 1.9 - Типы шарошечных долот и область их применения

Тип	Породы (f - коэффициент крепости)	Исполнение шарошек
М	Мягкие ($f < 4-5$)	С фрезерованными зубьями
МЗ	Мягкие абразивные ($f < 4-5$)	Со вставными зубьями
С	Средней твердости ($f = 5-6$)	С фрезерованными зубьями
СЗ	Абразивные средней твердости	Со вставными зубьями
СТ	Средней твердости с пропластками твердых ($f = 5-8$)	С фрезерованными зубьями
Т	Твердые малоабразивные ($f = 6-10$)	С фрезерованными зубьями
ТК	Крепкие с пропластками крепких ($f = 8-10$)	Комбинация фрезерованных и вставных зубьев
ТЗ	Твердые вязкие абразивные ($f = 8-14$)	Со вставными зубьями
ТКЗ	Твердые абразивные с пропластками крепких	Со вставными зубьями
К	Крепкие породы ($f = 12-14$)	Со вставными зубьями
ОК	Очень крепкие хрупкие абразивные ($f > 12-$	Со вставными зубьями

На карьерах используют почти исключительно трехшарошечные долота (рис. 1.7), состоящие из трех секций, соединенных сваркой. Каждая секция состоит из лапы 2, на которой касательно на цапфе смонтирована шарошка 1 конусной формы на опоре, состоящей из трех подшипников качения: большого роликового 6, малого роликового 8 и шарикового ряда-замка 7. Существуют другие схемы опор шарошек, в том числе с подшипниками скольжения, которые еще мало распространены. Рабочими элементами шарошки служат фрезерованные (наплавленные твердым сплавом) или вставные твердосплавные

зубья (штыри) с различной формой и вылетом головок. В лапах и цапфах сверлят каналы для направления части потока сжатого воздуха в опоры шарошек для охлаждения, смазки и предотвращения зашламовывания. Долота выпускаются с центральной (рис. 1.7, б) и периферийной (рис. 1.7, а) продувкой для пневматической очистки скважины от буровой мелочи.

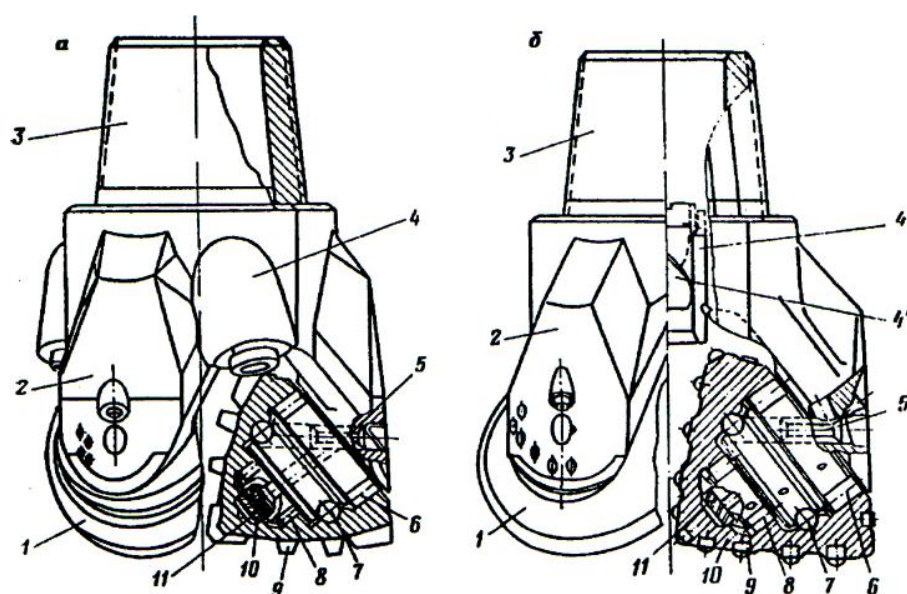


Рисунок 1.7- Конструктивные схемы трехшарошечных долот: а – зубчатого с фрезерованным вооружением шарошек и периферийной продувкой; б – штыревого (твердосплавные вставки) и центральной продувкой: 1 – шарошка; 2 – лапа долота; 3 – ниппель с резьбой; 4 – периферийный (а) и центральный (б) продувочные каналы; 5 – канал для подачи шариков замка; 6 – роликовый подшипник опоры; 7 – замковый шариковый подшипник; 8 – роликовый подшипник опоры; 9 – фрезерованные зубья шарошки (а) и твердосплавные штыри (б); 10 – корпус шарошки; 11 – опорная пятка опоры шарошки

Основное применение на отечественных карьерах находят шарошечные долота типов Т, ТЗ, К, ОК и реже М, МЗ и другие, диаметром 215,9; 244,5; 269,9; 320 мм и реже 146, 151, 161 и 190.5 мм. Номенклатура большинства трехшарошечных долот для горнорудных предприятий с указанием стоимости (в ценах 2000 г.) представлены в таблицах 1.10 и 1.11.

Таблица 1.10 - Трехшарошечные долота для горнорудной промышленности производства ОАО «Волгабурмаш» (основные типоразмеры)

№ п/п	Типоразмер долота	Цена без НДС, тыс. руб.	Цена с НДС, тыс. руб.
1	III 149,2 ТЗ-ПН	15,72	20,46
2	III 215,9 К-ПВ-1	14,52	18,9
3	III 215,9 ОК-ПВ	19,02	24,6
4	III 215,9 М-ПГВ	11,94	15,6
5	III 215,9 Т-ПВ	11,1	14,52
6	III 215,9 ТЗ-ПВ	18,9	24,5
7	III 244,5 ОК-ПГН	20,01	26,07
8	III 244,5 К-ПГВ	23,19	30,24
9	III 244,5 Т-ПГВ	11,94	15,6
10	III 244,5 ОК-ПГВ	26,16	33,99
11	III 250,8 ТКЗ-ПГВ	26,28	34,05
12	III 250,8 ОК-ПГВ	26,4	34,32
13	III 269,9 СЗ-ПГВ	28,56	37,14
14	III 269,9 ОК-ПГВ	28,56	37,14
15	III 311,1 ТКЗ-ПГВ	39,81	51,69
16	III 314,3 МЗ-ПГВ	38,7	50,82
17	III 320 Т-ПГВ	24,3	31,68
18	III 320 ТЗ-ПГВ	-	-
19	III 320 ОК-ПВ	-	-

Примечание: Римская цифра III – число шарошек. Арабские цифры – диаметр долота, мм. Первая буква (буквы) – тип вооружения долота. «П» - наличие продувочных каналов в лапах и их цапфах, предназначенных для охлаждения подшипников опор шарошек и предотвращения их зашламления. «Г» - периферийная схемы очистки забоя. «В» - опоры шарошек на подшипниках качения. Например: III 320 ТЗ-ПГВ – трехшарошечное долото диаметром 320 мм, со вставными зубьями, с продувкой опор и периферийной схемой очистки забоя, на подшипниках качения.

Таблица 1.11 - Трехшарошечные долота производства ОАО «Уралбурмаш» (основные типоразмеры)

№ п/п	Типоразмер долота	Цена, усл. ед.	№ п/п	Типоразмер долота	Цена, усл. ед.
1	Ш 151 С-ЦВ	310	18	Ш 215,9 М-ЦВ (ПВ)	500
2	Ш 151 Т-ЦВ	310	19	Ш 215,9 М-ГВ (ПГВ)	500
3	Ш 151 К-ЦВ	370	20	Ш 215,9 МЗ-ПВ	812
4	Ш 151 М-ЦВ	310	21	Ш 215,9 МЗ-ГВ (ПГВ)	880
5	Ш 161 СЗ-Н	480	22	Ш 215,9 С-ГВ	500
6	Ш 161 Т-ЦВ	320	23	Ш 215,9 СЗ-ГВ	880
7	Ш 161 К-ПВ	420	24	Ш 244,5 С-ЦВ	663
8	Ш 161 М-ЦВ	320	25	Ш 244,5 Т-ПВ	663
9	Ш 190,5 М-ГВ	630	26	Ш 244,5 ТЗ-ПВ	901
10	Ш 190,5 МЗ-ГВ	800	27	Ш 244,5 ТКЗ-ПВ	901
11	Ш 190,5 Т-ЦВ	590	28	Ш 244,5 К-ПВ	901
12	Ш 190,5 ТКЗ-ЦВ	630	29	Ш 244,5 ОК-ПВ	1051
13	Ш 215,9 СТ-ПВ	500	30	Ш 244,5 ОК-ПВ-W 17	1152
14	Ш 215,9 Т-ПВ	500	31	Ш 269,9 С-ЦВ	870
15	Ш 215,9 ТЗ-ПВ	728	32	Ш 269,9 ОК-ПВ	1100
16	Ш 215,9 К-ПВ	728	33	Ш 269,9 К-ПВ	1000
17	Ш 215,9 ОК-ПВ	728			

Кроме ОАО «Волгабурмаш» и «Уралбурмаш», шарошечные долота выпускает Дрогобычский долотный завод (Украина) и ряд новых заводов.

Шарошечные долота, как это можно видеть на рис. 1.7, являются достаточно сложными механизмами одноразового использования и поэтому имеют высокую цену (табл. 1.10, 1.11), не считая дополнительных устройств к ним (лубрикаторов, обратных клапанов и т.д.)

В условиях карьеров редко удается достигнуть соответствия типа вооружения шарошечного долота свойствам буримых пород, которые часто меняются в широком диапазоне, особенно, на угольных разрезах. Не обеспечивается также равномерность вооружения и опор, отказ последних

является основной причиной неработоспособности долота, так как существующими конструктивными решениями не устраняется проникновение буровой мелочи в подшипники качения опор.

В применяемые на карьерах шарошечные долота по существу заложены принципы (условия) глубокого бурения, где нельзя допустить высокую степень риска по фактору отказа долота. Используются только долота одноразового использования. Надежные разборные конструкции для этих условий создать пока не удалось, так как сохранялась традиционная форма лап.

Для карьеров целесообразно создавать специализированные шарошечные долота, учитывая, что при проходке мелких взрывных скважин затраты времени на замену неработоспособного долота и степень риска при его отказе ничтожны, исходя из этого в ГУЦМиЗ разработан ряд новых конструкций специализированных шарошечных долот для карьеров, которые являются разборными, имеют принципиально новые опоры и корпус многократного использования на нем шарошек различного вооружения.

В специализированном разборном шарошечном долоте конструкции ГУЦМиЗ (рис. 1.8) опоры снабжаются подшипниками скольжения вместо многорядных подшипников качения. При этом опоры выполняются маслonaполненными, герметизированными, с оригинальными замковыми соединениями (без замкового шарикового подшипника) и устройствами циркуляции смазки между трущимися поверхностями. В опоре применена плавающая втулка, использование которой позволяет четырем опорным поверхностям разделить скоростные нагрузки и износ, снизить скорость трения между шарошкой и цапфой. Втулки выполняются из более мягких материалов (бронза, синтетические материалы), чем части, между которыми они устанавливаются, и снабжены канавками для смазки. Кроме того, втулки функционируют как свободно вращающиеся и благодаря своей эластичности постоянно соответствуют поверхности противолежащей опоры без повреждения. Вместо лап традиционной формы цапфы закреплены в

хвостовиках, прочно закрепляемых в корпусе сплошной конструкции.

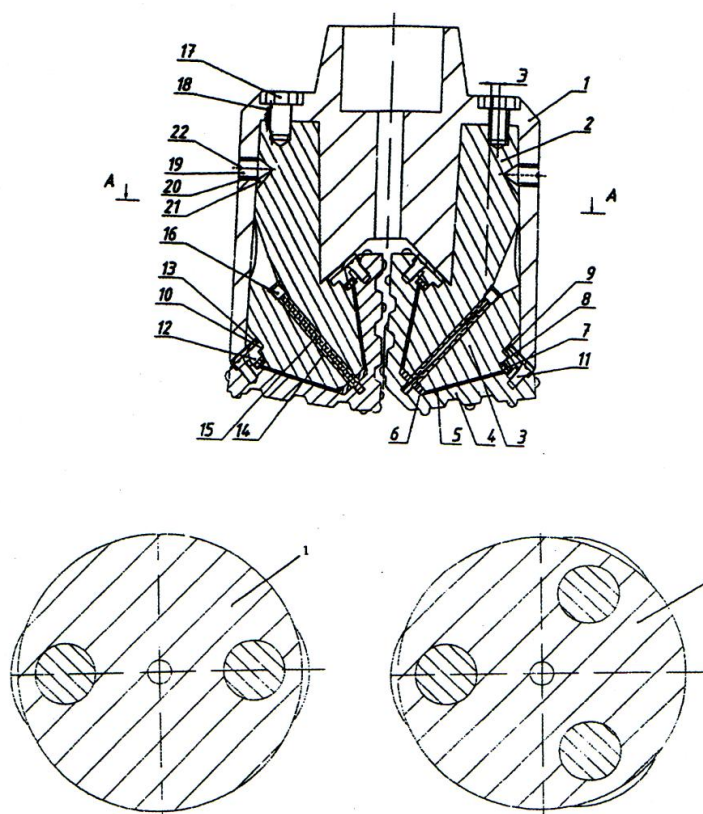


Рисунок 1.8 - Схема разборного шарошечного долота с корпусом многократного использования, опорами скольжения и фланцевым замковым соединением (конструкции ГУЦМиЗ): 1 – корпус; 2 – хвостовик; 3 – цапфа; 4 – шарошка; 5 – плавающая втулка; 6 – упорный подшипник скольжения; 7 – уплотнительные элементы; 8 – кольцевые канавки; 9 – неразрезной накидной фланец; 10 – упорный бурт цапфы; 11 – крепежные элементы; 12 – цилиндрический выступ фланца; 13 – шайба; 14 – резервуар для масла; 15 – гибкий шнек; 16 – резьбовая пробка; 17 - крепежный болт; 18 – крепежное отверстие; 19 – выточка под ключ; 20 - крепежное отверстие; 21 – выточка под болт; 21 – болт

Значительные резерв повышения производительности и экономичности бурения взрывных скважин кроется в создании разборных двухшарошечных долот с более мощными опорами и корпусом многократного использования. На рис. 9 представлена схема разборного двухшарошечного долота, состоящего из корпуса 1 в виде сплошной несварной конструкции с ниппелем 2 и продувочными каналами 3 шарошки 4 смонтированы на цапфах 5 сменных

хвостовиков 6, которые имеют круглое или прямоугольное сечение, входят в ответные отверстия внутри корпуса и закрепляются в нем горизонтальными стержнем 7 с помощью отверстий 8 и 10 и крепежной гайки 9, имеющей выемку 11 под торцевой ключ. Цапфы, шарошки и замковые соединения могут выполняться по существующим типовым схемам или подобно специализированному долоту, показанному на рис. 1.9.

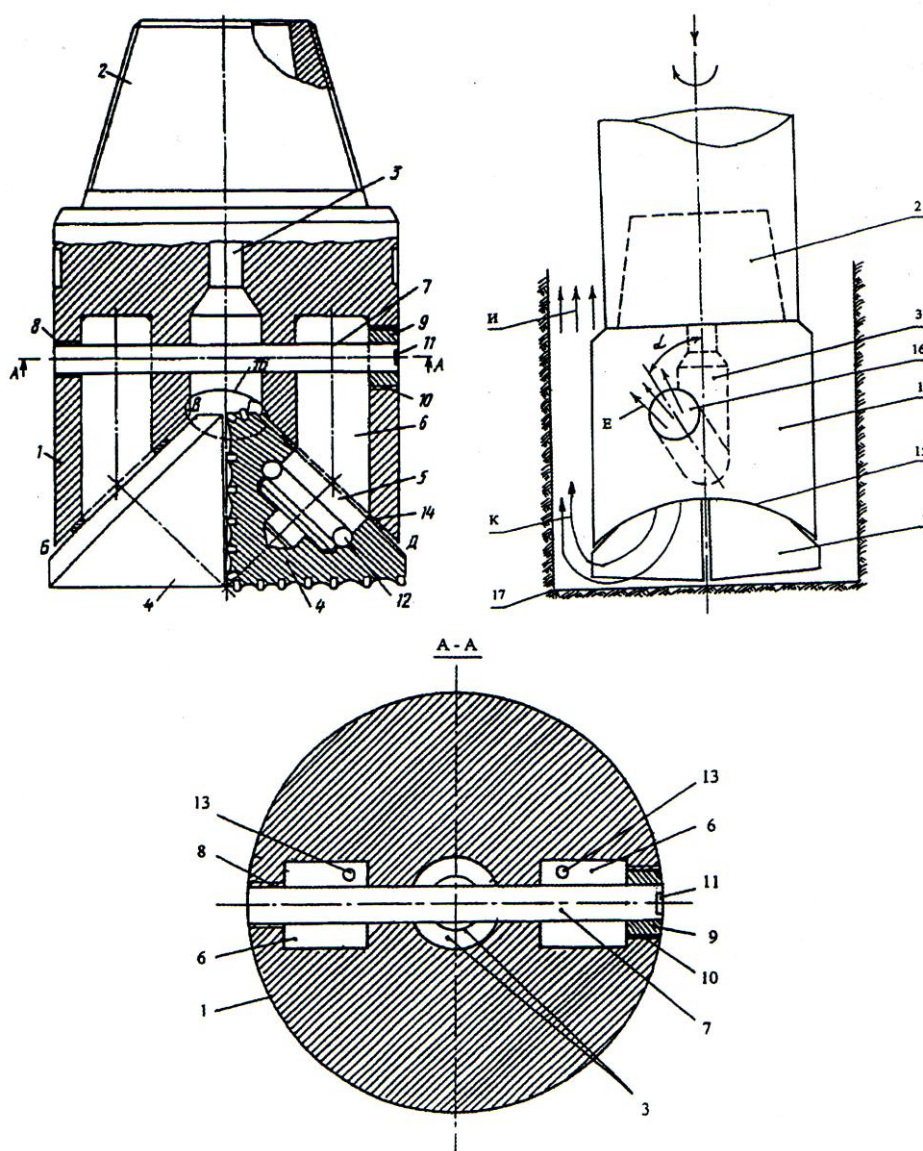


Рисунок 1.9 - Схема двухшарошечного разборного долота со сменными шарошками: 1 – корпус; 2 – ниппель; 3 – каналы; 4 – шарошка; 5 – цапфа; 6 – хвостовик; 7 – крепежный стержень; 8, 10 – отверстие; 9 – крепежная гайка; 11 – выемка в гайке; 12 – замковый подшипник; 13 – продувочные каналы; 14 – прокладочная шайба; 15- технологический вырез; 16 – цилиндрический канал; 17 – периферийная зона забоя

При разработке специализированных шарошечных долот для карьеров приняты во внимание достижения в области создания долот для глубокого бурения.

Зарубежные конструкции шарошечных долот более разнообразны по ассортименту и отличаются, как правило, хорошим качеством и высокой стоимостью. Данные о результатах их использования на отечественных карьерах противоречивы. По одним сведениям трехкратное увеличение стойкости сопровождаются трехкратным увеличением стоимости долот (по сравнению с отечественными) и не дает экономического эффекта, а по другим данным использование более дорогих зарубежных долот оказалось экономически выгодным. Для окончательной оценки, по-видимому, необходимо учитывать условия бурения и много других факторов.

В горных породах высокой крепости на карьерах для интенсификации процесса бурения применяли пневмоударники, располагая их под шарошечными долотами. Такой ударно-шарошечный снаряд (УШС) обеспечивал рост скорости бурения в 1,5-2 раза, но широкого распространения не получил так же, как магнитострикционные вибраторы.

Шарошечные механизмы используют в комбинированных режуще-шарошечных инструментах (РШИ) различных видов, располагая между двумя шарошками режущее лезвие, которое в мягких породах выдвигается на забой скважины впереди шарошек и, наоборот, утапливается (вровень или выше поверхности контакта шарошек с забоем скважины) в крепких породах. Предложенные рядом институтов конструкции РШИ сложнее шарошечных долот, многодетальны и также пока не получили широкого применения.

В отдельных случаях для придания шарошечному долоту режущих свойств используют метод смещения осей вращения шарошек (в плане) относительно диаметральной плоскости долота.

Все эти комбинированные и видоизмененные инструменты для вращательного бурения имеют свою рациональную область применения,

определяемую критерию стоимости проходки 1 м скважины.

Режущие долота для бурения со шнековой очисткой скважины

Режущие долота (коронки) со шнековой очисткой используются для бурения скважин преимущественно диаметром 160 мм (реже 125 мм) в слабых и средней крепости породах с $f < 5 - 6$, обеспечивая в этих условиях в 2 - 2,5 раза большую производительность, чем шарошечное бурение. Их конструктивные особенности, применяемые режимы бурения и работоспособность существенно зависят не только от крепости буримых пород, но в значительной степени от параметров и транспортирующей способности става шнековых штанг.

При шнековой очистке режущие долота в процессе работы на забое скважины погружены в буровой шлам, поэтому армируются твердым сплавом, как правило, на всю высоту корпуса, который выполняют, возможно, короче, чтобы облегчить поступление разрушенной породы на первый виток шнека.

Характерно, что затраты на шнеки превышают затраты на буровые долота. Затраты на бурение 1 м скважины станками БТС-150 и СБР-160 примерно равноценны.

Наиболее распространены режущие коронки двух типов: СБВ-2-23-03Н2 (НПИ-2) и НПИ-6/160 (рис. 1.10, а), серийно выпускаемые Карпинским машиностроительным заводом. Перовое из них (НПИ-2) имеет плоскую форму рабочей части, сплошную режущую кромку и наиболее эффективно при бурении слабых пород с $f = 1 - 4$, когда скорость бурения (подачи) имеет большие величины (до 4 м/мин), которые ограничиваются лишь транспортирующей способностью шнека мощностью вращателя. В более крепких породах долота НПИ-2 быстро изнашиваются и имеют стойкость 150 - 200 м.

Долото НПИ-6/160 (рис. 1.10, б) предназначено для проходки скважины в породах с $f = 2 - 5$ с прослоями песчаника ($f = 6 \div 8$) в малоабразивных

породах крепостью до $f = 8$. В пазы трехперого корпуса вставляются несколько резцов неодинаковой конструкции, фиксируемые пальцами и шплинтами. Комплект из 60 опережающих, 45 боковых и 90 калибрующих сменных резцов рассчитан на пробуривание до 5000 м скважин. Это долото в 3 с лишним раза дороже НПИ-2. Оно имеет большой коэффициент перекрытия скважины, обуславливающий повышенное сопротивление со стороны буровой мелочи.

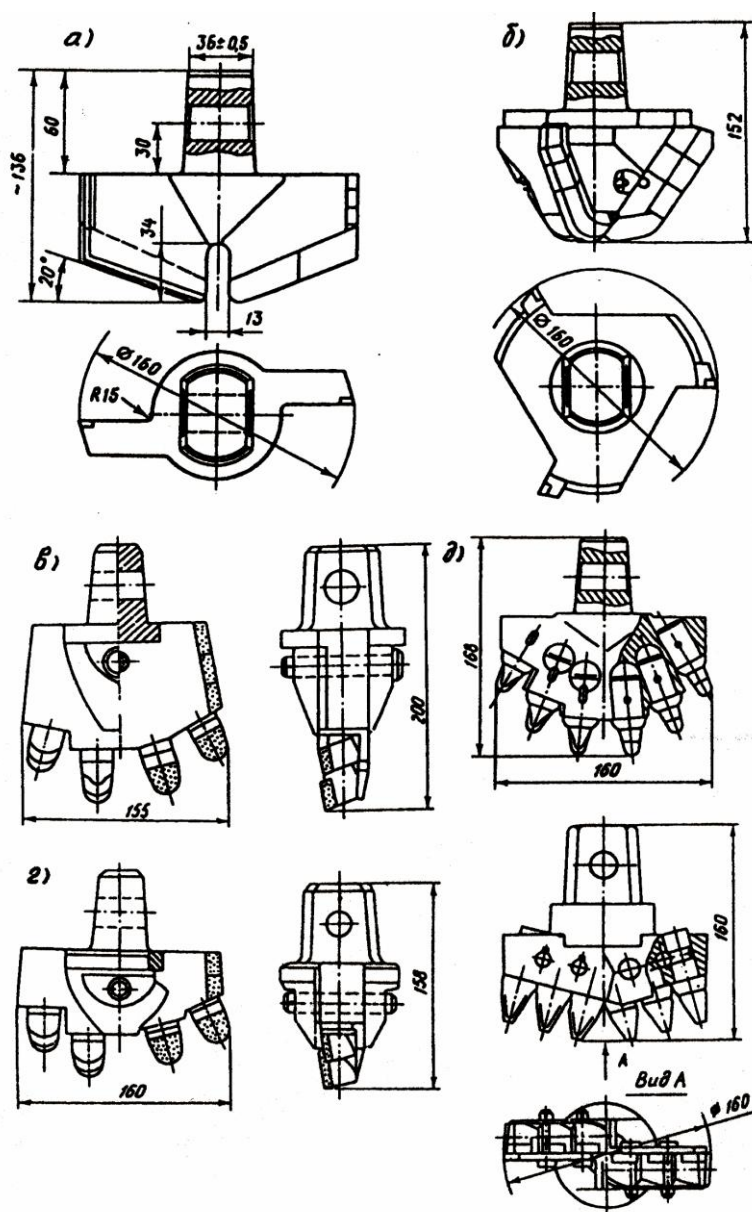


Рисунок 1.10 - Режущие буровые долота для бурения со шнековой очисткой скважин: а – СВБ2-23-03М2 (НПИ-2); б – НПИ-6/160 (оба Новочеркасского технического университета и Карпинского машиностроительного завода); в – 7РД-160Ш; г – 8РД-160Ш (оба Иркутского технического университета); д – КБЛ-160Е; е – КБ-160А (оба Кузбасского технического университета)

Близкими к долоту НПИ-2 по конструкции и характеристике являются долота типов РК-4м и 1РДМ-160Ш (Иркутского технического университета), а также ДЛ-160Ш, разработанные в НИИОГР. В абразивных и хрупких горных породах, например, песчаниках, а также при бурении конгломератных залежей, хорошие результаты показывают долота 7РД-160Ш и 8РД-160Ш (рис. 1.10, в, г), имеющие съемный корпус и комбайновые резцы РК-8Б.

Большое количество различных буровых долот со сменными комбайновыми резцами разработано в Кузбасском техническом университете. Для них (рис. 1.10, д, е) характерно симметричное дублированное расположение резцов.

Долота для бурения со шнековой очисткой типов ДР-160Ш и ДР-160ШЭ, разработанные НИИОГР, отличаются использованием съемных резцов специальной конструкции, позволяющей экономить твердый сплав. Эти преимущества видны из данных табл. 1.12.

Общая оценка рассматриваемого бурового инструмента сводится к следующему. Бурение режущими долотами со шнековой очисткой отличается простотой и надежностью, но ограничено породами большей крепости по условию стойкости вооружения долот и шнеков. При шнековой очистке режущее долото работает в заполненной буровой мелочью призабойной зоне скважины. Образуется тело волочения и буровая мелочь поступает на шнек за счет ее выдавливания из забоя. В таких условиях происходит интенсивный нагрев режущих элементов из-за плохого теплоотвода и, как следствие, повышенный износ долота особенно при встрече с пропластками твердых пород. Удовлетворительная транспортирующая способность шнека при бурении некрепких пород обеспечивается при скоростях вращения 120, 200 об/мин и более, которые излишни с точки зрения стойкости долота. Происходят большие затраты энергии на вращение заполненного шламом бурового става и преодоление трения вращающегося тела о стенки скважины. По этой причине затраты мощности сильно возрастают с глубиной скважины и при бурении

влажных и вязких пород мощность вращателя (обычно 40 - 50 кВт) становится недостаточной для бурения скважины глубиной более 15 - 18 м.

Таблица 1.12 - Показатели применения режущих долот при шнековой очистке

Показатели	Типы долот					
	СВБ-2-23-03М2		ДР-160Ш (комплект)	ДЛ-160Ш (комплект)	НПИ- 6/160	РК-4м
1. Коэффициент крепости пород, f	< 4	3-7	1-5	1-5	2-5	4
2. Скорость бурения, м/ч	120-160	12-40	60-170	90-155	68-130	до 150
3. Стойкость долота, м	250-400	30-50	2000	3000	5000	2500
4. Удельный расход сплава, г/м	0,5-0,8	6,67-4,0	0,475	0,7	1,47	-
5. Затраты на инструмент, на 1 м скважины	0,034-0,022	0,29-0,17	0,495	0,017	0,092	-

Примечание: В комплект долота входят: у ДР-160Ш – 32 резца, у НПИ-6/160 – 195 резцов, у ДЛ-160Ш – 10 лопастей.

Новые большие возможности бурения резанием открываются при использовании пневматической и шнекопневматической очистки. В этом случае конструкции режущих долот претерпевают значительные изменения.

Режущие долота для бурения с пневматической и шнекопневматической очисткой скважины

Применение режущих долот на шарошечных станках СБШ, начатые на основе исследований, выполненных в период 1961-1965 гг., знаменовало новый

важный этап в прогрессивном развитии не только технологии силового бурения резанием, но и характеристик карьерных буровых станков, придавая им универсальность по способам бурения. Подача сжатого воздуха на забой скважины устраняет многие ранее отмеченные негативные явления в забойном процессе, присущие шнековой очистке, а также позволяет устанавливать рациональные скорости резания, которые не могли достигаться из-за вынужденно высоких скоростей вращения шнеков.

Одними из первых на шарошечных станках СБШ-200 применялись режущие долота диаметром 214 мм и 243 мм типов ДР214В, ДР214ВЭ и ДР243ВЭ (рис. 1.11), разработанные НИИОГР и внедренные в широком масштабе на Экибастузских разрезах.

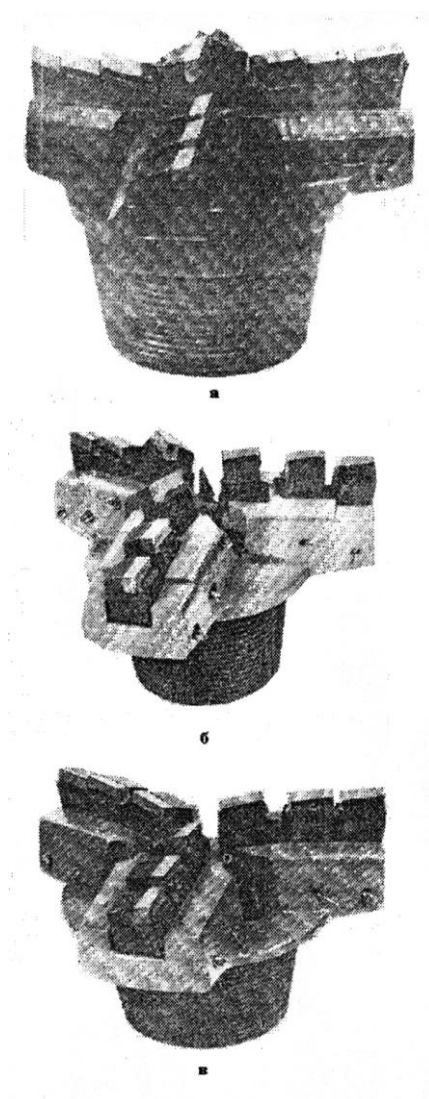


Рисунок 1.11 - Режущие долота для бурения с пневматической и шнеко-пневматической очисткой: а – ДР214В; б – ДР214ВЭ; в – ДР243ВЭ

По сравнению со шнековым бурением на режущие долота типа ДР удельная осевая нагрузка на 1 см диаметра долота была увеличена в 2,2 раза, а скорость резания крепких пород уменьшена в 1,3 раза. Такой силовой режим резания в сочетании с немедленным удалением буровой мелочи из забоя скважины и охлаждающим влиянием потока сжатого воздуха обеспечивает снижение интенсивности изнашивания резцов и удельного их износа. Тем самым, при переходе на силовое резание с продувкой, достигается главное – существенно расширяется область эффективного использования режущих долот, становится экономически целесообразным применять бурение резанием в массивах, содержащих достаточно мощные слои крепких пород. При этом исключаются большие затраты на шнеки, стойкость которых в несколько раз ниже стойкости зубчатых штанг. Основные показатели бурения перечисленными долотами приведены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 - Показатели бурения долотами на шарошечных станках

Показатели	Типы долот			
	ДР-214В	ДР214ВЭ	ДР243В	ДР243ВЭ
1.Диаметр долота, мм	214	214	243	243
2.Масса долота (сборки), кг	10,3	9,6	12,1	11,4
3.Комплектность, шт:				
- корпус	1	1	1	1
- резцы	48	45	48	45
4.Механическая скорость бурения в породах с $f = 1-5$ с прослоями с $f = 6-8$, м/ч	90-150	100-150	90-150	95-150
5.Стойкость комплекта долота, м	3000	3000	3000	3000
6.Масса твердого сплава (на комплект), кг	2,05	1,89	2,05	1,89
7.Удельный расход твердого сплава, г/м	0,667	0,63	0,667	0,63

Продолжение таблицы 1.13

Показатели	Типы долот			
	ДР-214В	ДР214ВЭ	ДР243В	ДР243ВЭ
8. Затраты на инструмент, отнесенные к 1 м скважины (в доперестроечных ценах), руб.	0,077	0,073	0,079	0,078

Оригинальной и перспективной является конструкция режущего долота типа ДР-160-244 (рис. 1.12), разработанного НИИОГР и предназначенного для бурения скважин в малоабразивных породах крепостью $f = 1-6$, которые перемежаются со среднеабразивными породами (песчаниками и т.п.) с $f \leq 8$ общей мощностью до 10 % от глубины скважины. В таких условиях бурения на станках ЗСБШ-200-60 инструментом ДР-160-244 диаметрами 216 и 244 мм обеспечивается увеличение скорости на 44-45 % по сравнению с трехшарошечными долотами типа 215,9МПГВ2. Этот инструмент может перестраиваться на бурение скважин различного диаметра и осуществлять разрушение горных пород крупным сколом, обеспечивая высокие эксплуатационные показатели. Так, в породах с $\sigma_{сж.} \leq 60$ МПа скорость бурения достигает 3 м/мин, крупностью штыба в отдельных случаях превышает 5 - 6 см. При этом осевое усилие в 4 - 6 раз меньше, чем при бурении шарошечным инструментом (30 - 50 кН против 180 - 200 кН).

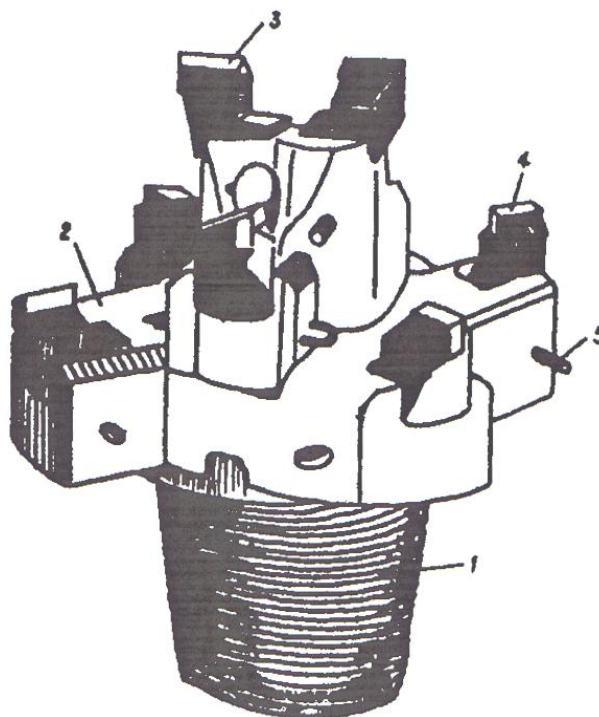


Рисунок 1.12 - Режущий буровой инструмент ДР-160-244 конструкции НИИОГР: 1- ниппель; 2 – корпус; 3 – центральные резцы; 4 – боковые резцы; 5 – шплинт

Большой комплекс исследовательских и проектно-конструкторских работ по созданию режущих долот для бурения с продувкой и внедрению их на карьерах промышленных объединений «Востсибуголь», «Якутзолото», «Северовостокзолото» и на алмазодобывающих карьерах выполнен в Иркутском государственном техническом университете. Основные конструкции созданных долот представлены на рис. 1.13. Установлено, что применение разработанных долот взамен шарошечных в соответствующих условиях позволяет сменить загрузку двигателя в 2 раза, увеличить сменную производительность в 2,2 раза и снизить в несколько раз расход бурового инструмента. При бурении по песчаникам с коэффициентом крепости $f < 7$ переход на режущие долота дает увеличение скорости бурения не менее чем в 1,5 раза и снижение энергоемкости процесса в 2 - 2,5 раза. При этом выход крупных фракций буровой мелочи (+3 мм) увеличивается в 1,9 раза.

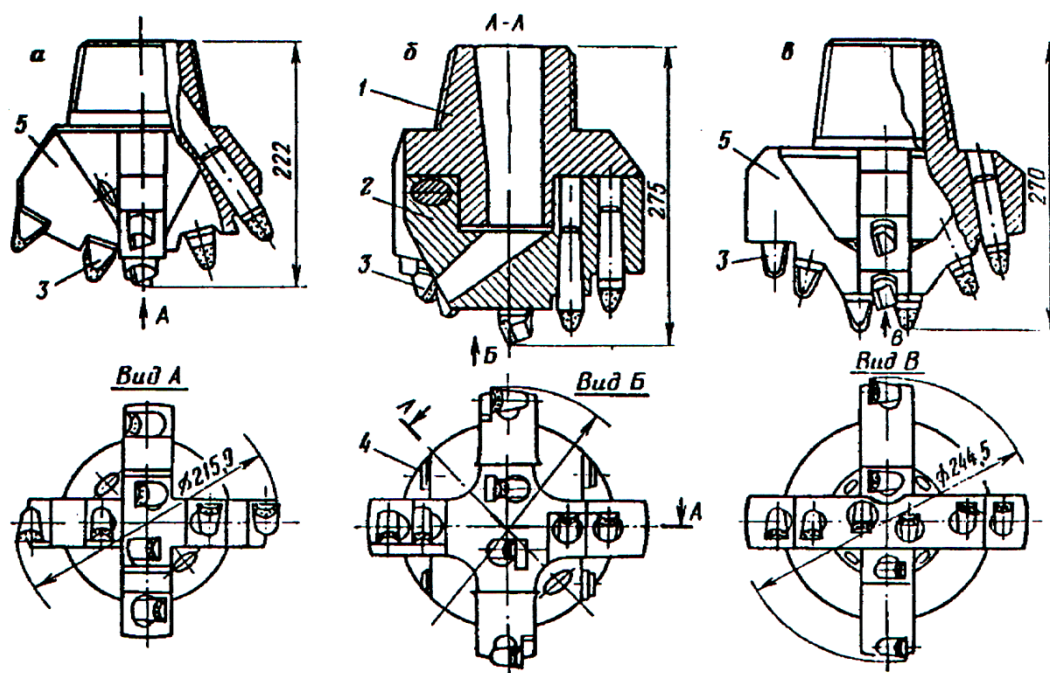


Рисунок 1.13- Режущие долота для бурения с продувкой (конструкции Иркутского ГТУ): а – ЗРД215,9; б – 1РД244,5; в – ЗРД244,5; 1 – хвостовик; 2 – съемный корпус; 3 – сменный комбайновый резец; 4 – замковый палец; 5 – корпус долота.

Характеристики и показатели основных конструкций созданных долот представлены в таблице 1.14.

Таблица 1.14 - Характеристики и показатели режущих долот для бурения с продувкой

Показатели	Типы долот		
	ЗРД-215,9	ЗРД-244,5	4РД-244,5
1.Диаметр скважины, мм	216	245	245
2.Расположение резцов по диаметру	четырёхлучевое	четырёхлучевое	трехлучевое
3. Тип резцов	РК-8Б	РК-8Б	ШБМ2С
4.Число резцов	8	10	8
5. Число линий резания	6	8	8
6. Механическая скорость бурения, м/мин	до 2,5	до 1,5	до 2,0

Продолжение таблицы 1.14

Показатели	Типы долот		
	ЗРД-215,9	ЗРД-244,5	4РД-244,5
7. Коэффициент крепости пород, f	до 7	до 7	до 7
8. Стойкость корпуса, м	до 3000	до 2000	до 2000
9. Расход резцов, шт/м	0,03	0,035	0,03
10. Масса, кг	15	20	19

В Кузбасском государственном техническом университете под руководством проф. Б.А. Катанова разработано и исследовано несколько образцов режущих долот для бурения с пневматической очисткой скважин с использованием их главным образом на станках СБР-160, оборудованных для шнекопневматической очистки скважин. Выполнены глубокие исследования в области бурения резанием с различными способами эвакуации буровой мелочи из скважины. В странах дальнего зарубежья режущие долота используются в гораздо меньшей степени, чем шарошечные. Режущие долота выпускаются со съёмными и несъёмными режущими элементами, армированными пластинками или зубками из твердого сплава или (в долотах специального назначения) искусственными монокристаллами и натуральными алмазами. Сменные элементы долот режущего типа и зубки для шарошечных долот изготавливаются фирмами США и Швеции. Основные типоразмеры долот режущего типа находятся в диапазоне 149 - 444 мм по диаметру.

Особым видом режущего бурового инструмента являются буровые долота типа ДЗДШ (долота режущие с вращающимися резцами), оснащаемые зубчато-дисковыми шарошками, сочетающие принцип работы режущего бурового инструмента и шарошечных долот. Они существенно отличаются по конструкции, характеру забойного процесса в области возможного использования, поэтому их целесообразно рассмотреть отдельным разделом.

1.5 Сравнительный анализ характеристик рабочих органов буровых станков

В настоящее время в горной промышленности используется большое многообразие буровых станков. Одним из наиболее важных узлов любого станка является система подачи рабочего органа.

Современной промышленности известны следующие типы подачи:

- гидравлическая подача (патронная). Применяется на станках СБШ-250;
- канатная подача. Применяется на станках РД-10;
- совмещенная подача (канатная с гидравлической). Станки СБШ-250;
- цепная подача. Применяется на станках СБУ-125.

Кроме того, перспективным направлением в настоящее время является разработка и внедрение электромагнитных систем подачи.

Особенностями гидравлической подачи является высокая надежность в нормальных климатических условиях; жесткое стабильное усилие, развиваемое гидравлическим цилиндром; возможность создания больших подающих усилий. К существенным недостаткам можно отнести: отсутствие адаптивности, большая инерция при регулировании режимов подачи, низкая надежность гидравлических агрегатов в сложных климатических условиях, необходимость сложного технического обслуживания и ремонта, громоздкость гидросистемы, включающей маслобак, насосы, гидравлическую арматуру и др.

Особенностями канатной подачи является высокая надежность в различных климатических условиях, адаптивность канатной системы к толчкам и ударам в процессе бурения. К недостаткам можно отнести: значительные ограничения в величине подающего усилия; большая инерция при регулировании технологических параметров процесса бурения; громоздкость и значительная масса канатной системы; сложность технического обслуживания и ремонта системы; необходимость отслеживания за техническим состоянием канатов, их своевременной отбраковки.

При использовании совмещенной подачи компенсируются некоторые недостатки одной системы, но добавляются недостатки другой. Например, в этом случае возможны большие усилия подачи, но усложняются условия регулировки параметров системы. Главное преимущество такой системы то, что сохраняется свойство адаптивности канатной системы, но в меньшей степени по сравнению с канатной. К существенному недостатку такой системы можно отнести большую громоздкость, сложность конструкции, необходимость технического обслуживания и гидравлической, и канатной системы.

Особенностью цепной системы является: наличие цепного тягового органа. Эта система не имеет большинства преимуществ канатной системы, но не требует системы отбраковки, поскольку элементы цепи возможно заменить. К существенным недостаткам цепной системы является значительная масса цепных тяговых органов, отсутствие адаптивности, низкая регулируемость параметров процесса.

Значительные возможности при бурении сложных пород и бурении на высоких скоростях и на большую глубину заключаются в разработке электромагнитных систем подачи рабочего органа бурового станка.

К основным достоинствам электромагнитной системы можно отнести следующее:

- электромагнитные линейные машины не имеют громоздких гидросистем, канатных и цепных элементов и устройств для их обслуживания;
- электромагнитная система подачи на основе запатентованного двигателя будет обладать высокой адаптивностью, наличием обратной связи, позволяющей своевременно в автоматическом режиме реагировать путем изменения того или иного параметра;
- линейные электромагнитные машины отмечаются высокой плотностью передаваемой энергии и возможностью высокого поступательного усилия с минимальными затратами электроэнергии. Они имеют минимальное

количество трущихся деталей;

- возможностью реверса;
- применение электромагнитных линейных двигателей позволяет значительно упростить кинематическую схему привода;
- повысить срок службы оборудования и стабильность точностных характеристик;
- расширить диапазон технологических скоростей (от 0.01 м/с до 5 м/с);
- увеличить динамику;
- получить, в сочетании с бесконтактным датчиком линейного перемещения, высокую точность (до 10 нм).

В настоящее время произошло кризисное удорожание буровых работ на карьерах, особенно в цветной и черной металлургии. В связи с этим проблема повышения эффективности техники и технологии бурения на открытых горных разработках страны приобрела важнейшее хозяйственное значение. Для ее решения можно выделить следующие неравнозначные основные направления:

- совершенствование конструкций буровых станков с целью повышения их надежности, оснащения САУ и бортовыми ЭВМ, развития модульной комплектации на основе базовых моделей с тем, чтобы параметры модификаций БС позволяли эффективно использовать различные виды БИ и способы очистки скважин, максимально соответствующие конкретным условиям применения;

- совершенствование и создание новых скоростных и износостойких конструкций буровых инструментов для ряда типизированных горно-геологических и технологических условий карьеров;

- совершенствование организации управления буровыми работами и форм сервисного технического обслуживания БС на крупных карьерах, внедрение систем диспетчерского телеконтроля работы БС, перевод БС на обслуживание одним оператором и т.д.;

- оптимизация технологического процесса бурения скважин

непосредственно в промышленных условиях действующих карьеров.

Два первых направления осуществляются вне карьеров, отличаются эволюционностью развития и являются предметом в основном конструкторских разработок на фирмах-изготовителях БС и ШД. Что касается третьего направления, то буровые станки типа СБШ технически и организационно освоены на карьерах достаточно полно.

Центральным в буровой системе «горная порода – буровой инструмент – буровой станок» является технологический процесс бурения, так как в нем интегрируется взаимодействие главных элементов, определяющих производительность и себестоимость проходки скважин. К таким элементам относятся свойства пород, типомодель (конструкция и качество) бурового долота и параметры его силового разрушающего воздействия на забой с учетом степени очистки скважины от шлама.

Анализ практических данных буровых работ свидетельствует о больших экономических потерях, которые имеют место на карьерах из-за значительного отставания существующей практики в применении научных методов оптимизации процессов производства. Отставание объясняется не только субъективными причинами, но и тем обстоятельством, что при существующем уровне знаний оптимизировать процесс бурения скважин возможно только на основе экспериментального определения параметров базовых технологических зависимостей на действующем объекте в конкретных горно-геологических условиях. Необходимость такого подхода подтверждается самыми последними исследованиями в области разрушения горных пород при их бурении, экскавации и взрывании. Сказанное подтверждает актуальность технологических исследований в производственных условиях карьеров, на уровне которых, в конечном счете, реализуются все новшества буровой техники и технологии.

Таким образом, выделяется актуальная научная задача обоснования и выбора рациональных конструкций БИ и параметров процесса бурения

непосредственно в условиях действующего карьера. Для ее решения формируются следующие задачи:

- исследование основных факторов и критериев оценки эффективности процесса бурения взрывных скважин для построения целевой функции;
- обоснование математических моделей процессов, происходящих в натурной системе «горная порода – буровой инструмент – буровой станок», и разработка алгоритмов оптимизации процесса бурения в условиях карьера;
- разработка способов и средств совершенствования процесса очистки скважин с учетом особенностей бурения в осложненных гидрогеологических условиях;
- разработка инженерных методик выбора в условиях карьера рациональных конструкций БИ, режимов бурения и прогнозирования оптимальных параметров и показателей процесса бурения.

Для решения поставленных задач необходимо использовать сочетание различных методов исследования, в том числе: научный анализ и обобщение опубликованных в литературе теоретических разработок и патентных материалов; технико-экономический анализ производственных данных по эксплуатации бурового оборудования на различных карьерах; эксперименты непосредственно в промышленных условиях (на массивах горных пород) на буровых станках СБШ-250МНА и РД-10, с применением для описания закономерностей натурального процесса бурения методов математического анализа, метода смещенных гипербол, методов математической статистики и других; математическое моделирование технологической системы «забой скважины – буровой инструмент – буровой станок», с отражением в модели как физических закономерностей разрушения пород и износа долота, так и основных технико-экономических связей и конструктивно-технологических параметров системы; опытно-промышленные испытания разработанных объектов и технологий; наблюдения за отработкой породоразрушающих инструментов на буровых станках; при обработке экспериментальных данных

целесообразно использовать методы корреляционного анализа, графо-аналитические, наименьших квадратов, расчеты на ЭВМ и др.

2. Разработка адаптивного электромагнитного механизма подачи рабочего органа бурового станка на основе линейного асинхронного двигателя

Вращение, подача на забой и извлечение из скважины породоразрушающего инструмента на буровых станках осуществляют исполнительные механизмы, к которым относятся вращатель, механизм подачи, вертлюг. Конструкции этих механизмов (получившие название «вращательно-подающие механизмы») определяют принципиальные различия моделей буровых станков и их режимных параметров.

Вращатели всех буровых станков по принципу действия одинаковы и состоят из двигателя и редуктора. Механизмы подачи имеют разнообразные конструкции: гравитационные, канатные, гидравлические, цепные, поршневые, канатно-поршневые, зубчато-реечные и др.

Существующие вращательно-подающие механизмы имеют ряд существенных недостатков. Жесткая связь схемы «электропривод – гидросистема – канатно-полиспастная система» создает инерционность и сложность управления режимами бурения, что приводит к несвоевременному регулированию осевого усилия, особенно при бурении сложноструктурных пород, с широким диапазоном крепости.

Указанных недостатков можно избежать с применением линейного электродвигателя для подачи бурового става. Теоретические и экспериментальные исследования линейных двигателей позволили разработать конструктивную схему адаптивного электромагнитного механизма подачи и определить его силовые параметры. Расчеты электромеханических характеристик устройства проведены с использованием программы ANSYS, которая позволила определить зависимость силовых параметров двигателя от осевого усилия на буровой став.

На основе анализа существующих приборов и устройств составлена

номенклатура контрольно-измерительной аппаратуры с целью оперативного управления режимами бурения скважин с применением предложенного электромагнитного механизма подачи бурового става.

2.1 Анализ конструкций и применения линейных электродвигателей для адаптивной системы подачи бурового станка

Среди электрических машин наибольшее распространение получили линейные электродвигатели. Они имеют плоское и цилиндрическое исполнения. Составными частями электродвигателя является индуктор и вторичный элемент. Индуктор плоского двигателя состоит из магнитопровода и обмотки. Магнитопровод электродвигателя набирается из отдельных секций (рис. 2.1, а), которые шихтуются на сборочных призмах (рис. 2.1, б). Потом магнитопровод прессуется и скрепляется с помощью наживных плит (рис. 2.1, в).

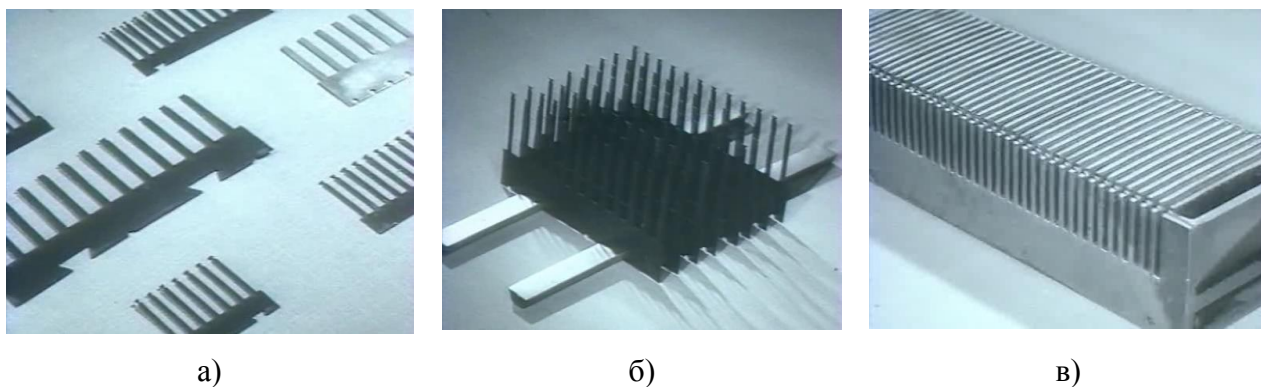


Рисунок 2.1 – Магнитопровод электродвигателя: а) – отдельные секции; б) - сборочные призмы; в) - наживные плиты

Секции обмотки двигателя (рис. 2.2, а) укладываются в пазы магнитопровода и соединяются между собой по заданной схеме (рис. 2.2, б). Для механической защиты и герметизации индуктор заливается специальным компаундом (рис. 2.2, в). В отдельных случаях лобовые части обмотки

закрываются защитным кожухом.

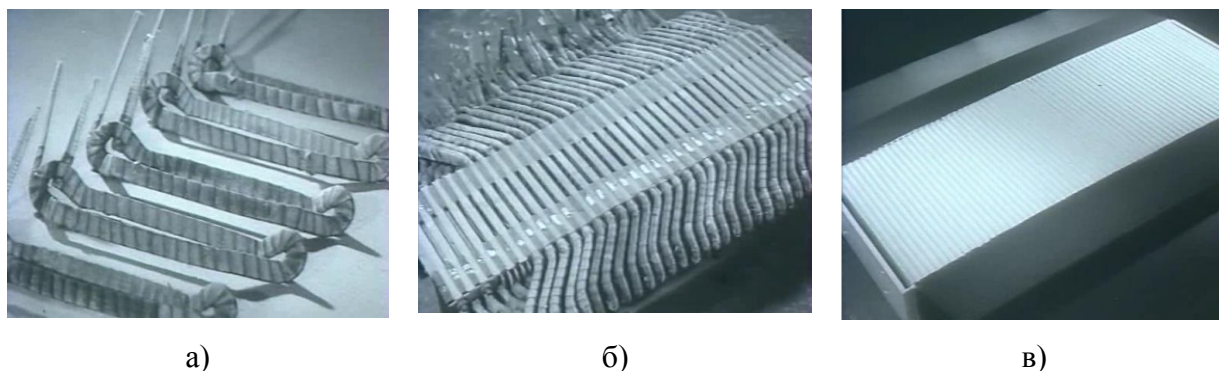


Рисунок 2.2 - Обмотка электродвигателя: а) – секции обмотки; б) – схема соединения обмоток; в) – герметизация индуктора

Естественное охлаждение индуктора осуществляется через вентиляционные жалюзи защитного кожуха (рис. 2.3, а). На рабочих режимах двигателя с интенсивным тепловыделением применяются системы принудительного охлаждения (рис. 2.3, б).

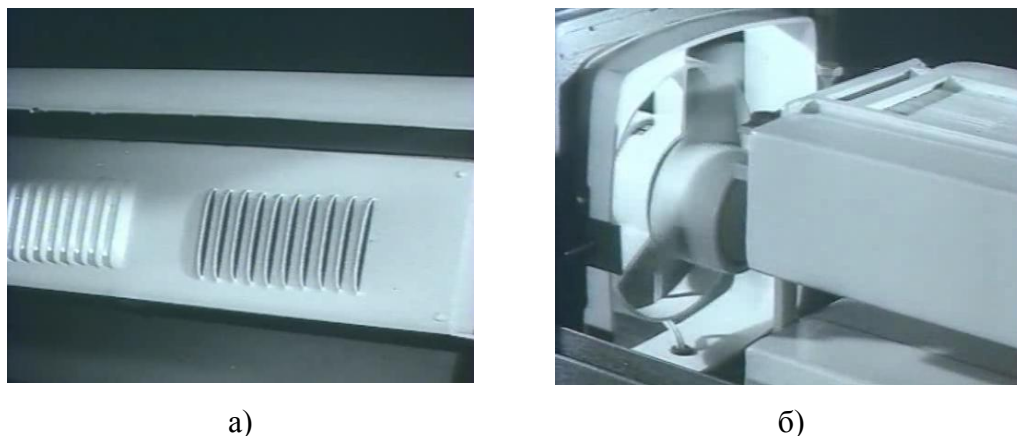


Рисунок 2.3 - Система охлаждения: а) – защитный кожух; б) - система принудительного охлаждения

Плоские линейные электродвигатели могут быть односторонними и двухсторонними. Вторичный элемент одностороннего двигателя обычно выполняется в виде стальной полосы с алюминиевым и медным покрытием. В двухстороннем двигателе, вторичный элемент представляет собой

токопроводящую полосу. Применяются и другие конструкции вторичных элементов, том числе с короткозамкнутыми и фазными обмотками.

В исполнительных устройствах и механизмах возвратно-поступательного движения преимущественно применяются цилиндрические линейные электродвигатели, в основу конструкции которых положен модульный принцип (рис. 2.4).

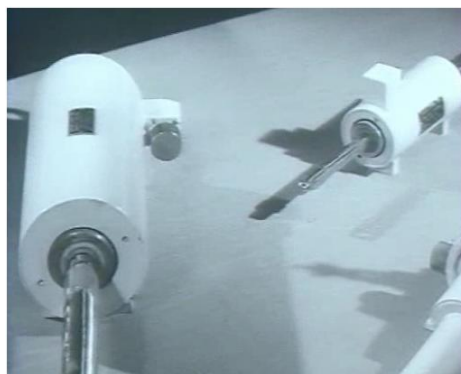
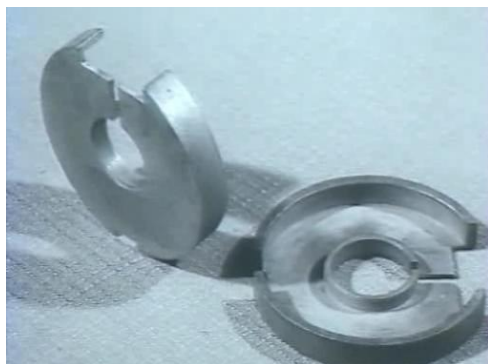
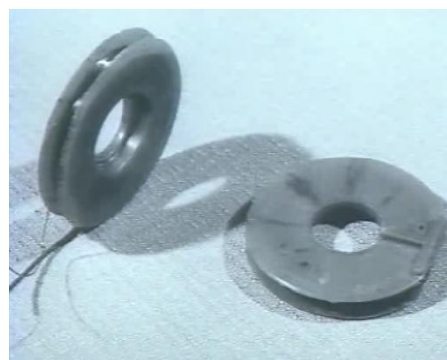


Рисунок 2.4 - Цилиндрический линейный электродвигатель

Магнитопровод двигателя состоит из отдельных стальных шайб (рис. 2.5, а). Катушки обмотки наматывают на каркасы (рис. 2.5, б) и помещают в пазы шайб магнитопровода. Образуются монтажные модули (рис. 2.6), из которых набирается индуктор двигателя (рис. 2.7). Необходимый воздушный зазор между индуктором и вторичным элементом поддерживается с помощью подшипника скольжения запрессованного в торцевую крышку. Конструкция фиксируется кольцами.



а)



б)

Рисунок 2.5 - Монтажные модули: а) – стальные шайбы; б) – каркасы



Рисунок 2.6 - Монтажные модули в сборе

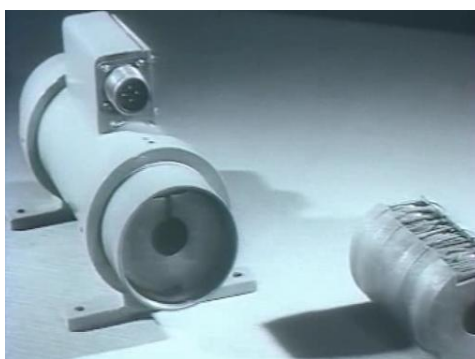
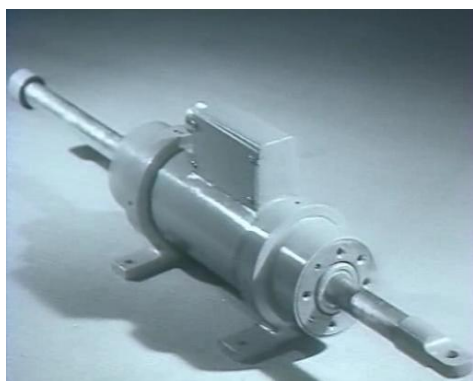


Рисунок 2.7 - Индуктор электродвигателя

Вторичный элемент цилиндрического электродвигателя выполняется в виде стержня (рис. 2.8, а) или трубы (рис. 2.8, б) с токопроводящим покрытием. Применение короткозамкнутого вторичного элемента повышает тягово энергетические показатели двигателя.



а)



б)

Рисунок 2.8 - Вторичный элемент: а) – стержень; б) – труба

Внедрение линейных электродвигателей в различное технологическое оборудование сопровождается усовершенствованием существующих и разработкой новых конструкций этого типа электрических машин

Управление линейными электродвигателями

К автоматизированному электроприводу предъявляются повышенные требования по критериям качества и регулирования. Этим требованиям в большинстве случаев отвечает *линейный электропривод*. В нерегулируемом режиме вторичный элемент линейного асинхронного двигателя будет перемещаться со скоростью, близкой к синхронной скорости электромагнитного поля. Скорость линейного асинхронного двигателя, по аналогии с ротационными двигателями, регулируется путем изменения полюсного деления, частоты питающего напряжения или скольжения. Управление движением в системах со стационарными индукторами, имеющими разные полюсные деления, обеспечивает требуемые ускорение и замедление. Изменение частоты питающего напряжения приводит к пропорциональному изменению синхронной скорости электродвигателя и скорости вторичного элемента. Частотное управление обеспечивает широкий диапазон регулирования. Применение вторичного элемента, состоящего из отдельных участков с разными электромагнитными свойствами, обеспечивает изменение скольжения и скорости. Снижение питающего напряжения приводит к соответствующему уменьшению тягового усилия двигателя и скорости перемещения вторичного элемента. Такой способ особенно эффективен для управления двухфазными линейными двигателями с волновым полем, способным реализовывать низкие скорости и уравнивать силу тяжести груза без пульсации вторичного элемента. Применение вычислительных средств для управления многоиндукторными системами позволяет реализовать программируемые режимы движения вторичного элемента. При этом могут быть использованы различные способы управления, в том числе и комбинированные. Реализация сложных траекторий движения имеет особое

значение при создании роботизированных технических комплексов.

Классификация линейных электродвигателей

Линейные двигатели могут быть асинхронными, синхронными и постоянного тока, повторяя по принципу своего действия соответствующие двигатели вращательного движения. Наибольшее распространение получили асинхронные линейные двигатели, которые мы и рассмотрим вначале. Представление об устройстве линейного асинхронного двигателя можно получить, если мысленно разрезать (рис. 2.9, а, б) статор 1 и ротор 4 с обмотками 2 и 3 обычного асинхронного двигателя вдоль оси по образующей и развернуть в плоскость, как это и показано на рисунке. Образовавшаяся «плоская» конструкция представляет собой принципиальную схему линейного двигателя. Если теперь обмотки 2 статора такого двигателя подключить к сети переменного тока, то образуется магнитное поле, ось которого будет перемещаться вдоль воздушного зазора со скоростью V , пропорциональной частоте питающего напряжения f и длине полюсного деления T : $V = 2Tf$.

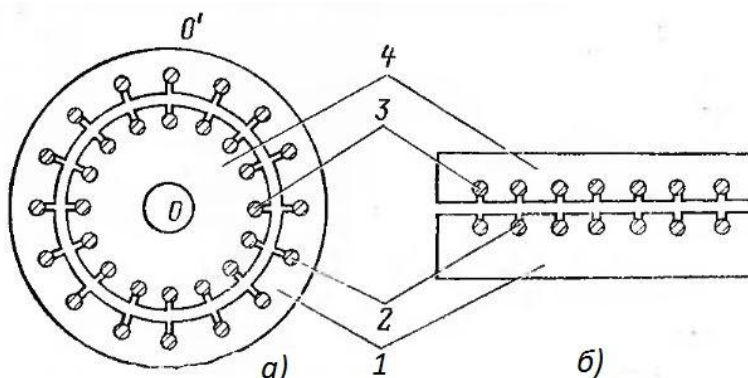


Рисунок 2.9 - Принцип построения линейного двигателя переменного тока

Это перемещающееся вдоль зазора магнитное поле пересекает проводники обмотки 3 ротора и индуцирует в них ЭДС, под действием которой по обмотке начнут протекать токи. Взаимодействие токов с магнитным полем приведет к появлению силы, действующей, по известному правилу Ленца, в направлении перемещения магнитного поля. Ротор — в дальнейшем будем называть его уже вторичным элементом — под действием этой силы

начнет двигаться с некоторым отставанием (скольжением) от магнитного поля, как и в обычном асинхронном двигателе.

Представленная на рис. 2.10, б) конструкция представляет собой линейный двигатель с одинаковыми размерами статора и вторичного элемента.

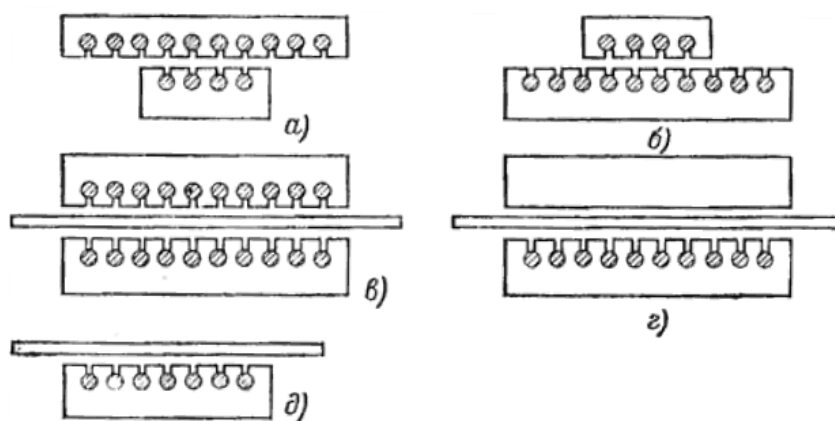


Рисунок 2.10 - Линейные двигатели: а) с длинным вторичным элементом; б) с коротким вторичным элементом; в) двухстаторный; г) с сердечником; д) со вторичным элементом в виде полосы

Помимо такой конструкции, в зависимости от назначения линейного двигателя вторичный элемент может быть длиннее статора (рис. 2.10, а) или короче его (рис. 2.10, б). Такие двигатели получили соответственно название двигателей с коротким статором и коротким вторичным элементом. Вторичный элемент линейного двигателя не всегда снабжается обмоткой. Часто - и в этом одно из достоинств линейного асинхронного двигателя - в качестве вторичного элемента используется металлический лист (полоса), как это показано на рис. 2.10, д). Вторичный элемент при этом может располагаться также между двумя статорами (рис. 2.10, в) или между статором и ферромагнитным сердечником (рис. 2.10, г). Двигатель с конструктивной схемой, приведенной на рис. 2.10, б), получил название двигателя с односторонним статором, со схемой по рис. 2.10, в) с двусторонним статором и со схемой по рис. 2.10, г) с односторонним статором и сердечником.

Вторичный элемент выполняется из меди, алюминия или стали, причем

использование немагнитного вторичного элемента, предполагает применение конструктивных схем с замыканием магнитного потока через ферромагнитные элементы, как, например, на рис. 2.10, в), г). Некоторое распространение получили составные сложные вторичные элементы с прилегающими друг к другу полосами из немагнитного и ферромагнитного материала, при этом ферромагнитная полоса выполняет роль части магнитопровода.

Принцип действия линейных двигателей с вторичным элементом в виде полосы повторяет работу обычного асинхронного двигателя с массивным ферромагнитным или полым немагнитным ротором. Обмотки статора линейных двигателей имеют те же схемы соединения, что и обычные асинхронные двигатели, и подключаются обычно к сети трехфазного переменного тока.

Отметим, что линейные двигатели очень часто работают в так называемом обращенном режиме движения, когда вторичный элемент неподвижен, а передвигается статор. Такой линейный двигатель, получивший название двигателя с подвижным статором, находит, в частности, широкое применение на электрическом транспорте. Разновидностями линейных асинхронных двигателей являются дуговой и трубчатый (коаксиальный) двигатели.

Дуговой двигатель характеризуется расположением обмотки на части окружности, как это показано на рис. 2.11. Особенностью этого двигателя является зависимость частоты вращения его ротора I от длины дуги, на которой располагаются обмотки 2 статора 3.

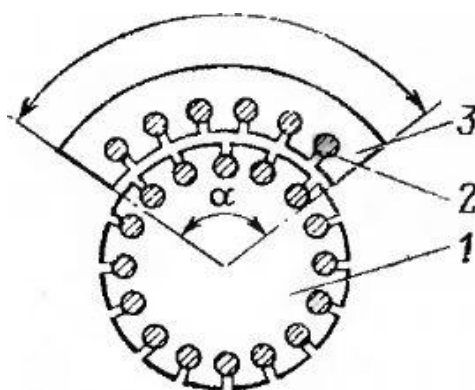


Рисунок 2.11- Дуговой двигатель

Одна из типовых конструкций трубчатого линейного двигателя представлена на рис. 2.12. Статор двигателя 1 имеет вид трубы, внутри которой располагаются перемежающиеся между собой плоские дисковые катушки 2 (обмотки статора) и металлические шайбы 3, являющиеся частью магнитопровода. Катушки двигателя соединяются группами и образуют обмотки отдельных фаз двигателя. Внутри статора помещается вторичный элемент 4 также трубчатой формы, выполненный из ферромагнитного материала. При подключении к сети обмоток статора вдоль его внутренней поверхности образуется бегущее магнитное поле, которое индуцирует в теле вторичного элемента токи, направленные по его окружности.

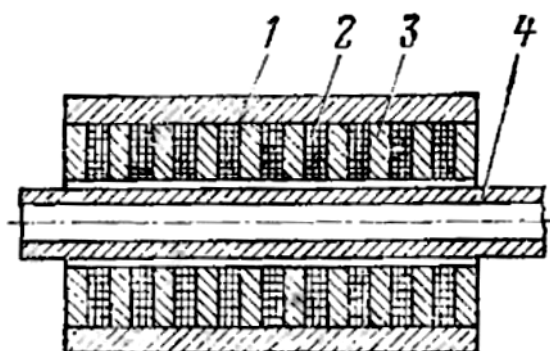


Рисунок 2.12- Трубчатый (коаксиальный) линейный двигатель

Взаимодействие этих токов с магнитным полем двигателя создает на вторичном элементе силу, действующую вдоль трубы, которая и вызывает (при

закрепленном статоре) движение вторичного элемента в этом направлении. Трубчатая конструкция линейных двигателей характеризуется аксиальным направлением магнитного потока во вторичном элементе в отличие от плоского линейного двигателя, в котором магнитный поток имеет радиальное направление.

2.2 Расчет и обоснование режимных параметров электромагнитного механизма подачи рабочего органа бурового станка на основе линейного асинхронного двигателя

В настоящее время в горной промышленности применяются буровые станки с различными типами вращательно-подающих механизмов. Их особенности характеризуются величиной усилия подачи, частотой вращения бурового става и др. Но при бурении сложноструктурных массивов горных пород, имеющих колебание физико-механических свойств по глубине, часто возникают значительные ударные нагрузки и вибрация, результатом которых является увеличение циклических напряжений во всем буровом органе. При этом 80 % случаев отказов приходится на разрушение опор качения шарошек буровых долот. Часто из анализа наработок на отказ шарошечных долот следует вывод о значительном снижении их стойкости (до 2-х раз) в случае бурения породы со сложной структурой.

В конструкции современных шарошечных долот, имеющих опоры качения часто применяются подшипники по схеме ролик-шарик-ролик. Предел прочности сталей тел качения составляет 1900 – 2300 МПа и выше. Для получения высших показателей необходимо осуществлять термическую обработку с большой точностью в температурах и времени выдержки. Расчеты показывают, что напряжение в телах качения при равномерном нагружении 1400 – 1650 МПа. Но при значительных колебаниях физико-механических свойств породы доходит до 2250 МПа и выше.

Для приближения ресурса шарошечных долот к максимально возможному, имеющему место при бурении однородной породы, необходимо применение адаптивного вращательно-подающего механизма. Он позволит использовать узкий промежуток между уровнем напряжения в телах качения и предельными прочностными показателями материала.

Отечественные станки шарошечного бурения имеют в системе подачи нерегулируемые гидроприводы. И при изменении свойств горной породы исключить внезапную ударную нагрузку практически невозможно. На изменение свойств породы уже позже реагирует машинист. Но в течение указанного переходного процесса буровой инструмент испытывает сложнейшие по характеру и величине нагрузки. Вследствие чего стойкость буровых долот значительно снижается.

Из анализа существующих электрических машин вращательного и линейного действия можно сделать вывод, что из соображений прочности, простоты конструкции, удобства токоподвода и применения источников переменного напряжения для питания электрических установок буровых станков, наиболее предпочтительным является Асинхронный двигатель с массивным ротором.

Ротор этого двигателя представляет собой сплошной ферромагнитный цилиндр (рис. 2.13) .

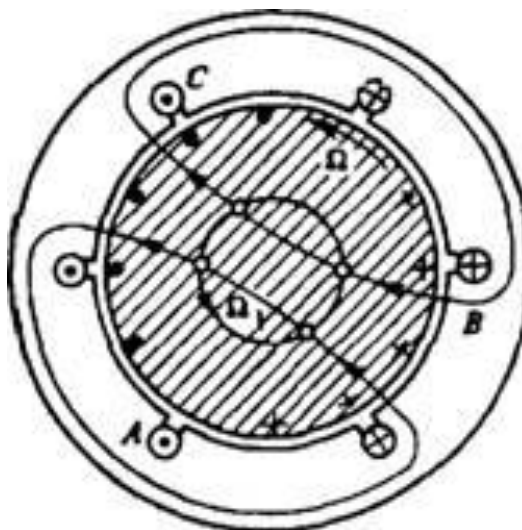


Рисунок 2.13- Асинхронный двигатель с массивным ротором

Такой ротор играет одновременно роли магнитопровода и токопровода. Вращающееся магнитное поле проникает на определенную глубину в тело ротора и индуцирует в нем вихревые токи. Эти токи при взаимодействии с магнитным полем образуют электромагнитный момент. Вследствие сильно выраженного поверхностного эффекта вихревые токи протекают в сравнительно тонком слое на глубине проникновения электромагнитного поля в тело ротора. Эквивалентная глубина проникновения зависит от частоты перемагничивания ротора. Для двигателя, рассчитанного на частоту 50 Гц, эквивалентная глубина проникновения при пуске ($s=1$) составляет только 1-3 мм, в рабочем режиме при $s = 0,05$ - примерно 5-15 мм. Вообще в линейном приближении глубина проникновения изменяется обратно пропорционально. Это приводит к соответствующему изменению сечения слоя, по которому протекают вихревые токи, активного сопротивления массивного ротора.

В результате такого проявления с массивным ротором поверхностного эффекта пусковой момент в двигателе с массивным ротором достаточно велик, и он уступает двигателю с короткозамкнутой обмоткой на роторе только по своим рабочим свойствам — КПД и коэффициенту мощности. Объясняется это тем, что в номинальном режиме при скольжении $s = 0,1 - 0,5$ глубина проникновения тока и потока в тело ротора еще достаточно мала, а электрическое сопротивление для тока и магнитное сопротивление для потока велики, вследствие чего двигатель имеет большие электрические потери в роторе и большой намагничивающий ток.

Для улучшения рабочих характеристик иногда прикрепляют с двух сторон к торцевым поверхностям цилиндрического ротора медные короткозамыкающие кольца. Медные кольца имеют значительно меньшее удельное электрическое сопротивление, чем стальное тело ротора, и выполняют ту же роль, что и торцевые короткозамыкающие кольца беличьей клетки. В

результате активное сопротивление массивного ротора уменьшается за счет увеличения электрической проводимости торцевых частей. С этой же целью в микродвигателях прибегают к покрытию внешней поверхности массивного ротора тонким слоем меди толщиной 0,1-0,3 мм. Кроме того, можно добиться улучшения рабочих характеристик подбором такого материала для массивного ротора, который обладал бы оптимальными электрической и магнитной проводимостями. В этом направлении в последнее время достигнуты определенные успехи. Получены сплавы, обладающие большей электрической проводимостью и меньшей магнитной проницаемостью, чем у стали, при применении которых глубина проникновения поля существенно возрастает и технические показатели улучшаются.

Применение массивного ротора, обладающего большой механической прочностью, позволяет построить асинхронные двигатели на весьма высокие частоты вращения (10 000-100 000 об/мин и более). Такие двигатели предназначены для питания от источников повышенной частоты (400-1500 Гц и более) и находят применение в специальных электроприводах, например гироскопических устройствах.

Несмотря на технологичность конструкции двигателей с массивным ротором, в общепромышленном электроприводе они пока не применяются. Это связано исключительно с их недостаточно высокими энергетическими показателями в рабочих режимах.

Интересной разновидностью рассматриваемого двигателя является двигатель с полым магнитным ротором. В этом двигателе в целях уменьшения массы и момента инерции ротор выполняется в виде полого сплошного ферромагнитного цилиндра. Толщина его стенок может быть выбрана равной глубине проникновения в рабочих режимах. При частотах 400—1000 Гц она составляет 0,3-0,5 мм и 1-3 мм при 50 Гц.

Поскольку магнитный поток замыкается по стенкам полого магнитного ротора, в двигателе с таким ротором нет необходимости во внутреннем статоре.

Этим он выгодно отличается от двигателя с полым немагнитным ротором. Однако из-за довольно низких КПД и $\cos \varphi$, а также других недостатков двигатели с полым магнитным ротором имеют ограниченное распространение.

Для решения проблемы адаптивного механизма подачи бурового станка разработан экспериментальный лабораторный стенд «Электромагнитный механизм подачи бурового станка». Основным элементом является линейный трехфазный асинхронный электрический двигатель с массивным ротором. Он имеет в своей основе статорную обмотку, подключаемую к сети трехфазного переменного тока, напряжением 380 В. В качестве ротора используется стандартная труба, состоящая из стали, обладающей ферромагнитными свойствами.

Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем представлена на рис. 2.14.

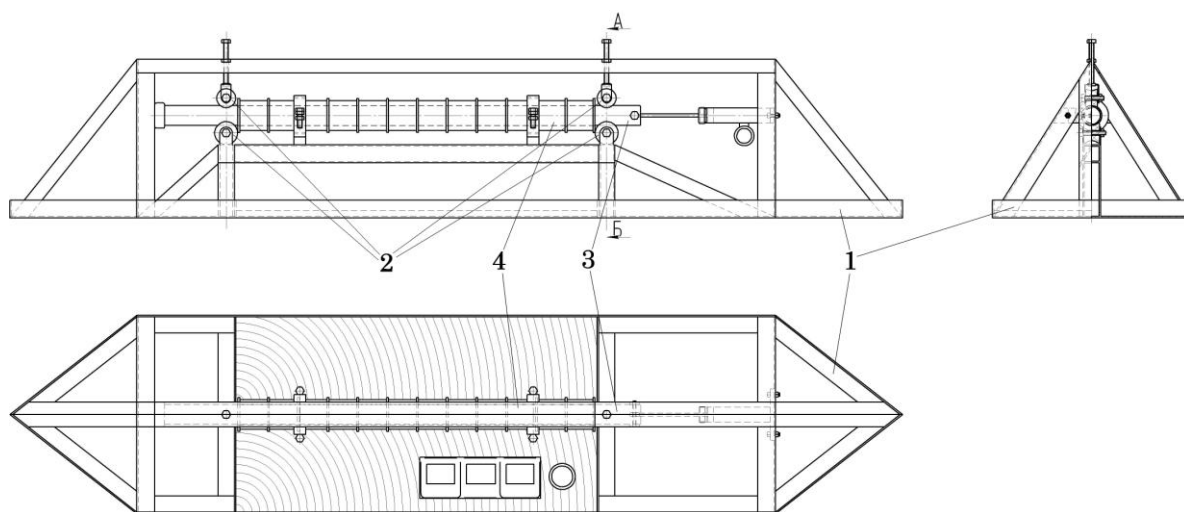


Рисунок 2.14 - Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем

Стенд состоит из стальной рамы 1 с роликовыми опорами 2, в которых подвижно закреплен массивный ротор 3 в виде стальной магнитной трубы. Статор 4 в виде цилиндрических обмоток расположен вокруг массивного ротора 3 с возможностью продольного перемещения последнего внутри

статора. Катушки статора могут подключаться попеременно, как показано на рисунке по одной или несколько штук, на каждую фазу. Таким образом, стенд позволяет проанализировать режимы работы двигателя. Для этого он оснащен динамометром для измерения усилия подачи, а также приборами для измерения тока и напряжения в определенных фазах. Двигатель стенда не имеет магнитопровода для получения характеристик, зависящих от минимального числа факторов. Двигатель подключается к сети переменного трехфазного напряжения 380 В.

В результате начальных испытаний выяснено, что при потребляемой мощности 6,35 кВт и при нулевой скорости двигатель развивал усилие с учетом погрешности приборов 80 – 90 Н. Без нагрузки двигатель развивал линейную скорость 0,31 м/с.

Механическая характеристика асинхронного двигателя вращательного действия имеет вид (рис. 2.15):

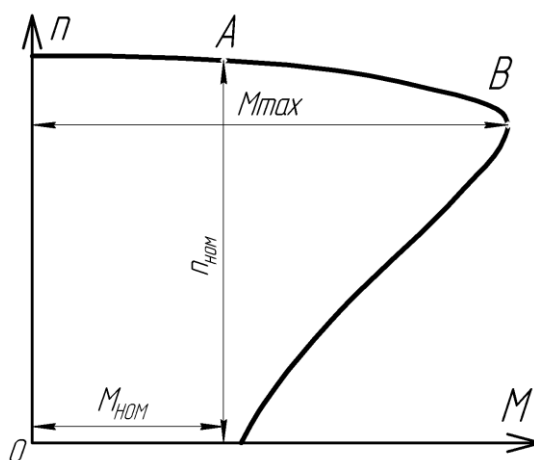


Рисунок 2.15 - Механическая характеристика асинхронного двигателя вращательного действия

Механическая характеристика асинхронной машины линейного действия имеет схожий вид. Отличие заключается в наличии краевых эффектов. Однако при условии применения в качестве массивного ротора трубы достаточно большой длины, влияние краевого эффекта оказывает меньшее значение. Активное r_2 и индуктивное $x_{\sigma 2}$ сопротивления массивного ротора ввиду сильно

выраженного поверхностного эффекта значительно зависят от скольжения. Так, в случае $f_1 = 50$ Гц при пуске ($S = 1$) эквивалентная глубина проникновения токов в роторе составляет только 3 мм, при $S = 0,02$ – около 20 мм, при $S = 0,001$ – около 100 мм. Поэтому при пуске сопротивление r_2 весьма велико и $X_{\sigma 2}$ мало, а с уменьшением скольжения сопротивление r_2 уменьшается, а $X_{\sigma 2}$ – увеличивается.

В результате сильного проявления поверхностного эффекта пусковой момент двигателя с массивным ротором достаточно велик $M_{\Pi} / M_H = 1,5 - 2,0$ (рис. 2.16).

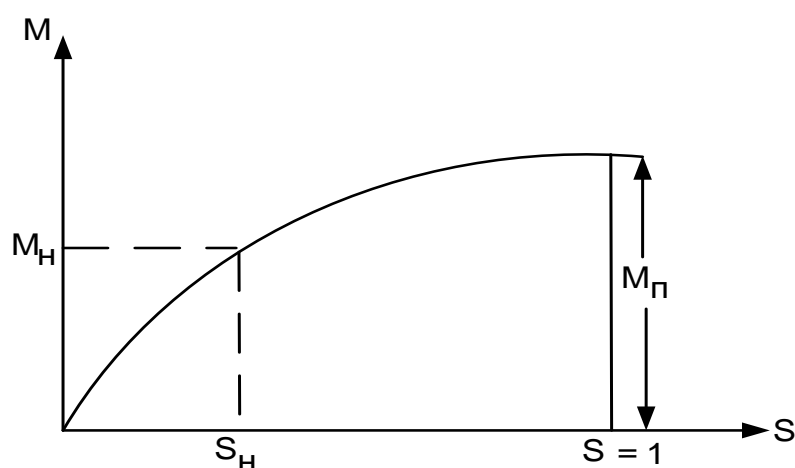


Рисунок 2.16 - Механическая характеристика асинхронного двигателя с массивным ротором

Однако двигатели малой мощности с массивными роторами при $f_1 = 50$ Гц имеют низкие кпд и коэффициент мощности. Но с увеличением мощности растет также и кпд.

Массивный ротор имеет большое преимущество в прочности. В связи с этим асинхронные двигатели с массивным ротором вполне могут применяться в качестве привода подачи рабочего органа бурового станка.

Поскольку двигатель в лабораторном стенде не имеет магнитопровода, необходимо рассчитать номинальное подающее усилие в случае наличия магнитопровода, изготовленного из электротехнической стали. А затем найти мощность двигателя, способного создавать подающее усилие до 200 или 300 кН

в зависимости от модели бурового станка. Для этого необходимо рассчитать магнитное сопротивление цепи в случае с магнитопроводом и без.

Схема магнитной цепи одной обмотки статора линейного асинхронного двигателя с массивным ротором без магнитопровода показана на разрезе тороидальной обмотки (рис. 2.17).

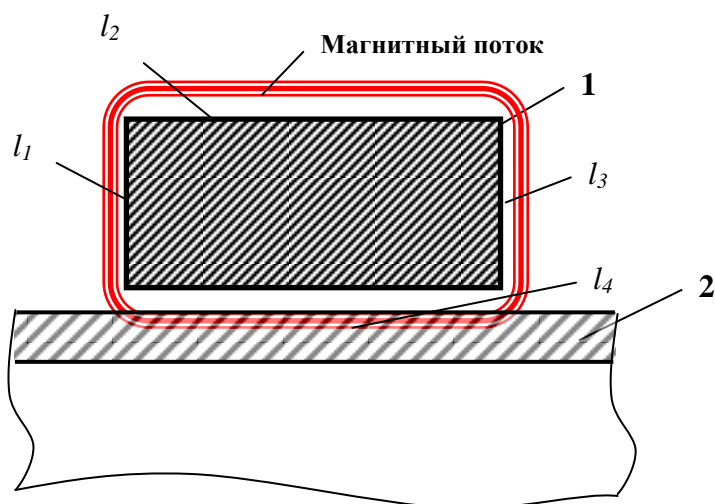


Рисунок 2.17 - Схема магнитной цепи одной обмотки статора линейного асинхронного двигателя с массивным ротором без магнитопровода: 1 – обмотка статора; 2 – массивный ротор в виде стальной трубы l_1, l_2, l_3, l_4 – участки магнитной цепи

Схема магнитной цепи обмотки статора с магнитопроводом показана на рисунке 2.18:

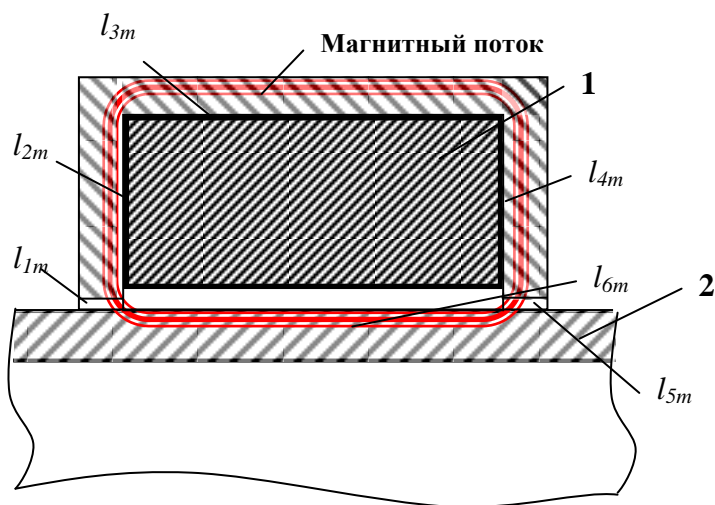


Рисунок 2.18 - Схема магнитной цепи одной обмотки статора линейного асинхронного

двигателя с массивным ротором с магнитопроводом.

1 – обмотка статора; 2 – массивный ротор в виде стальной трубы $l_{1m}, l_{2m}, l_{3m}, l_{4m}, l_{5m}, l_{6m}$ – участки магнитной цепи с магнитопроводом

Магнитное сопротивление участка цепи определяется из следующего выражения:

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}, \text{ Гн}^{-1},$$

где R_m – магнитное сопротивление участка цепи, Гн^{-1} ; l – длина участка магнитной цепи, м; μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м ; μ_r – магнитная проницаемость вещества участка магнитной цепи; S – площадь поперечного сечения участка магнитной цепи, м^2 .

Магнитное сопротивление цепи без магнитопровода определяется следующим образом:

$$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_{r1} S} + \frac{l_2}{\mu_0 \mu_{r2} S} + \frac{l_3}{\mu_0 \mu_{r3} S} + \frac{l_4}{\mu_0 \mu_{r4} S} =$$

$$\frac{l_1 (\mu_{r2} \mu_{r3} \mu_{r4}) + l_2 (\mu_{r1} \mu_{r3} \mu_{r4}) + l_3 (\mu_{r1} \mu_{r2} \mu_{r4}) + l_4 (\mu_{r1} \mu_{r2} \mu_{r3})}{\mu_0 S \mu_{r1} \mu_{r2} \mu_{r3} \mu_{r4}}, \text{ Гн}^{-1}.$$

Длины участков магнитной цепи без магнитопровода (рис. 2.16): $l_1 = 0,02$ м; $l_2 = 0,06$ м; $l_3 = 0,02$ м; $l_4 = 0,06$ м. Магнитная проницаемость вещества участков магнитной цепи $\mu_{r1} = 1$ (воздух); $\mu_{r2} = 1$ (воздух); $\mu_{r3} = 1$ (воздух); $\mu_{r4} = 3500$ (среднеуглеродистая сталь 45). Площади поперечного сечения участков магнитной цепи принимаем равными S . $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$.

Магнитное сопротивление цепи с магнитопроводом из электротехнической стали определяется следующим образом:

$$R_{m2} = \frac{l_{1m}}{\mu_0 \mu_{r1m} S} + \frac{l_{2m}}{\mu_0 \mu_{r2m} S} + \frac{l_{3m}}{\mu_0 \mu_{r3m} S} + \frac{l_{4m}}{\mu_0 \mu_{r4m} S} + \frac{l_{5m}}{\mu_0 \mu_{r5m} S} + \frac{l_{6m}}{\mu_0 \mu_{r6m} S} =$$

$$\frac{l_{1m} (\mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) + l_{2m} (\mu_{r1m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) + l_{3m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) +$$

$$l_{4m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) + l_{5m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r6m}) + l_{6m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m})}{\mu_0 S \mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}}, \text{ Гн}^{-1}$$

Длины участков магнитной цепи с магнитопроводом (рис. 2.18): $l_{1m} = 0,0005$ м; $l_{2m} = 0,0195$ м; $l_{3m} = 0,06$ м; $l_{4m} = 0,0195$ м; $l_{5m} = 0,0005$ м; $l_{6m} = 0,06$ м. Магнитная проницаемость вещества участков магнитной цепи $\mu_{r1m} = 1$ (воздух); $\mu_{r2m} = 7500$ (электротехническая сталь); $\mu_{r3m} = 7500$ (электротехническая сталь); $\mu_{r4m} = 7500$ (электротехническая сталь); $\mu_{r5m} = 1$ (воздух); $\mu_{r6m} = 3500$ (среднеуглеродистая сталь 45). Площади поперечного сечения участков магнитной цепи принимаем равными S . $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м.

Ориентировочное усилие, развиваемое двигателем, обмотки которого имеют магнитопровод, можно найти из соотношения:

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{R_{1m}}{R_{2m}}$$

При условии, что воздушный зазор 0,5 мм, при аналогичных размерах магнитопровода получим:

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{R_{1m}}{R_{2m}} = P_1 \cdot \frac{0,02 \cdot 3500 + 0,06 \cdot 3500 + 0,02 \cdot 3500 + 0,06 \cdot 1}{1} \times \\ \times \frac{7500}{0,0005 \cdot (7500 \cdot 3500) + 0,0195 \cdot 3500 + 0,06 \cdot 3500 + 0,0195 \cdot 3500 + 0,0005 \cdot (7500 \cdot 3500) + 0,06 \cdot 7500} = \\ = P_1 \cdot 97,072$$

Таким образом, трехфазный асинхронный двигатель с массивным ротором, имеющий аналогичные размеры, оснащенный магнитопроводом будет развивать усилие в пределах 7766 – 8736,5 Н. Среднее значение усилия $P_1 = 8251$ Н при потребляемой мощности 6,35 кВт.

Для получения усилия подачи 200 кН данный привод должен будет иметь ориентировочную мощность с учетом магнитных и электрических потерь 154 кВт.

Потребляемая мощность может быть уменьшена:

- увеличением площади поперечного сечения и магнитной проницаемости магнитопровода;
- уменьшением магнитного сопротивления в воздушном зазоре;
- нанесением металлического слоя с высокой электрической

проводимостью на поверхность массивного ротора;

- созданием пазов в теле массивного ротора.

При этом основной задачей создания электромагнитного привода подачи бурового органа является своевременное реагирование на изменение свойств горной породы. Электромагнитный привод будет реагировать на увеличение или уменьшение показателя буримости соответственным изменением величины тока в обмотке статора. Т.е. точка рабочего режима двигателя будет перемещаться по механической характеристике. Время такой адаптивной реакции будет характеризоваться периодом переходных электромагнитных процессов, что равняется десятым долям секунды. Изменение тока в обмотке двигателя должно быть учтено при проектировании электрической машины.

Кроме того, данный механизм подачи рабочего органа позволяет легко автоматизировать процесс, в случае длительных перегрузок. Изменение тока будет фиксироваться напрямую с обмотки двигателя. В автоматическом режиме, согласно заложенной в контроллере функции режим бурения будет изменен.

Соответственно должны быть изменены усилие и скорость подачи, а также момент на валу вращательного механизма и скорость вращения бурового става. Регулировка режимов возможна тремя способами:

- при помощи преобразователя частоты;
- понижением напряжения – для экстренного снижения величины ударных нагрузок;
- комплексное использование обоих способов для получения оптимальных режимов.

Итак, применение адаптивного механизма подачи на основе линейного трехфазного асинхронного двигателя с массивным ротором возможно на базе существующих буровых станков, запитанных от трехфазной электрической сети. Линейный трехфазный асинхронный двигатель с массивным ротором способен обеспечить требуемое усилие подачи с приемлемым значением

потребляемой мощности. Адаптивный привод подачи способен своевременно реагировать на резкие изменения свойств горных пород перемещением точки рабочего режима по механической характеристике асинхронной машины, при соответственном изменении величины тока в обмотке двигателя. Применение в качестве системы подачи линейного электромагнитного двигателя позволяет получать информацию об изменениях физико-механических свойств породы, измеряя величину тока в обмотке двигателя. В случае длительных перегрузок в автоматическом режиме, согласно заложенной в контроллере функции режим бурения может быть изменен.

3. Безопасность жизнедеятельности

3.1 Правила безопасности при проведении буровых работ

Рабочее место для ведения буровых работ должно быть обеспечено:

- подготовительным фронтом работ (очищенной и спланированной рабочей площадкой);
- комплектом исправного бурового инструмента;
- проектом (паспортом, технологической картой) на бурение.

Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ должно осуществляться в соответствии с установленными требованиями.

Буровой станок должен быть установлен на спланированной площадке на безопасном расстоянии не менее 2 м от бровки до ближайшей точки опоры стана, а его продольная ось при бурении первого ряда скважин должна быть перпендикулярна бровке уступа.

Запрещается подкладывать куски породы под домкраты станков. При установке буровых станков на первый от откоса ряд скважин управление станками должно осуществляться дистанционно.

Перемещение бурового станка с поднятой мачтой по уступу допускается по спланированной площадке. При перегоне бурового станка с уступа на уступ или под высоковольтной линией (ВЛ) мачта должна быть уложена в транспортное положение, буровой инструмент – снят или надежно закреплен.

Бурение скважин следует производить в соответствии с инструкциями, разработанными организациями на основании типовых для каждого способа бурения (шарошечного, ударновращательного).

Каждая скважина, диаметр устья которой более 250 мм, после окончания бурения должна быть перекрыта.

Запрещается перенос кабеля буровых станков вручную.

Для предотвращения падения персонала с высоты при производстве ремонтных работ на кабеле и мачте буровых станков, необходимо пользоваться

предохранительными поясами.

Для бурения блока взрывных скважин на выкопировке из планшета горизонта проектируются точки расположения скважин. На выкопировке маркшейдерской службой наносятся верхняя и нижняя бровки уступа и последний ряд скважин предыдущего взорванного блока.

Проект на бурение скважин проверяется начальником горного участка, согласовывается главным маркшейдером, главным геологом и утверждается директором рудника.

Точки скважин выносятся на уступе с указанием высотной отметки и глубины скважин с учетом заданного переруба.

3.2 Общие требования безопасности при эксплуатации буровых установок

Выполнение любых работ на электрооборудовании опасно и требует специальных знаний, поэтому такие работы должен выполнять только электротехнический персонал. Прикосновение человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением, ведет к мгновенному поражению электрическим током.

Переменный ток, проходя через тело человека, вызывает судорожные сокращения мышц, затрудняет деятельность органов дыхания и сердца и может привести к полному прекращению дыхания и кровообращения. Даже мгновенное воздействие переменного тока величиной 0,1 А смертельно для человека.

Допустимое воздействие электрического тока на человека нормируется ГОСТ 12.1.038-82. Относительно безопасным считается напряжение до 12 В, а в помещениях влажных, запыленных, с токопроводящими полами и повышенной температурой воздуха - до 12 В.

3.3 Оперативное обслуживание. Осмотры электроустановок

Оперативные переключения должен выполнять оперативный или оперативно-ремонтный персонал, допущенный распорядительным документом руководителя организации. В электроустановках напряжением выше 1000 В работники из числа персонала, единолично обслуживающие электроустановки, или старшие по смене должны иметь группу по электробезопасности IV, остальные работники в смене - группу III. В электроустановках напряжением до 1000 В работники из числа оперативного персонала, обслуживающие электроустановки, должны иметь группу III.

В электроустановках не допускается приближение людей, механизмов и грузоподъемных машин к находящимся под напряжением неогражденным токоведущим частям на расстояния менее указанных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением

Напряжение, кВ	Расстояние от людей и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояния от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м
на ВЛ	0,6	1,0
В остальных электроустановках	не нормируется (без прикосновения)	1,0
1 - 35	0,6	1,0
60, 110	1,0	1,5
150	1,5	2,0
220	2,0	2,5
330	2,5	3,5
400, 500	3,5	4,5
750	5,0	6,0
800	3,5	4,5

Продолжение таблицы 3.1

Напряжение, кВ	Расстояние от людей и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояния от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м
1150	8,0	10,0

При осмотре электроустановок напряжением выше 1000 В не допускается входить в помещения, камеры, не оборудованные ограждениями или барьерами, препятствующими приближению к токоведущим частям на расстояния. Не допускается проникать за ограждения и барьеры электроустановок. Не допускается выполнение какой-либо работы во время осмотра.

Отключать и включать разъединители, отделители и выключатели напряжением выше 1000 В с ручным приводом необходимо в диэлектрических перчатках. Снимать и устанавливать предохранители следует при снятом напряжении. Допускается снимать и устанавливать предохранители, находящиеся под напряжением, но без нагрузки. Под напряжением и под нагрузкой допускается заменять: предохранители во вторичных цепях, предохранители трансформаторов напряжения и предохранители пробочного типа.

При снятии и установке предохранителей под напряжением необходимо пользоваться:

- в электроустановках напряжением выше 1000 В - изолирующими клещами (штангой) с применением диэлектрических перчаток и средств защиты лица и глаз;
- в электроустановках напряжением до 1000 В - изолирующими клещами или диэлектрическими перчатками и средствами защиты лица и глаз.

Двери помещений электроустановок, камер, щитов и сборок, кроме тех, в

которых проводятся работы, должны быть закрыты на замок.

При несчастных случаях для освобождения пострадавшего от действия электрического тока напряжение должно быть снято немедленно без предварительного разрешения руководителя работ.

3.4 Порядок и условия производства работ

Работы в действующих электроустановках должны проводиться по наряду - допуску (далее - наряду).

Выполнение работ в зоне действия другого наряда должно согласовываться с работником, ведущим работы по ранее выданному наряду (ответственным руководителем работ) или выдавшим наряд на работы в зоне действия другого наряда.

Ремонты электрооборудования напряжением выше 1000 В, работа на токоведущих частях без снятия напряжения в электроустановках напряжением выше 1000 В, а также ремонт ВЛ независимо от напряжения, как правило, должны выполняться по технологическим картам или ППР.

В электроустановках напряжением до 1000 В при работе под напряжением необходимо:

- оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;
- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом диэлектрическом ковре;
- применять изолированный инструмент (у отверток, кроме того, должен быть изолирован стержень), пользоваться диэлектрическими перчатками.

Не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры и т.п.

Не допускается в электроустановках работать в согнутом положении, если при выпрямлении расстояние до токоведущих частей будет менее расстояния, указанного в таблице. Не допускается при работе около неогражденных токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или с двух боковых сторон. Не допускается прикасаться без применения электрозащитных средств к изоляторам, изолирующим частям оборудования, находящегося под напряжением.

Не допускаются работы в неосвещенных местах. Освещенность участков работ, рабочих мест, проездов и подходов к ним должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных устройств на работающих.

Весь персонал, работающий в помещениях с энергооборудованием (за исключением щитов управления, релейных и им подобных), в ЗРУ и ОРУ, в колодцах, туннелях и траншеях, а также участвующий в обслуживании и ремонте ВЛ, должен пользоваться защитными касками.

На ВЛ независимо от класса напряжения допускается перемещение работников по проводам сечением не менее 240 мм^2 и по тросам сечением не менее 70 мм^2 при условии, что провода и тросы находятся в нормальном техническом состоянии.

Обслуживание осветительных устройств, расположенных на потолке машинных залов и цехов, с тележки мостового крана должны производить по наряду не менее двух работников, один из которых, имеющий группу III, выполняет соответствующую работу. Второй работник должен находиться вблизи работающего и следить за соблюдением им необходимых мер безопасности.

Устройство временных подмостей, лестниц и т.п. на тележке мостового крана не допускается. Работать следует непосредственно с настила тележки или с установленных на настиле стационарных подмостей. С троллейных проводов перед подъемом на тележку мостового крана должно быть снято напряжение. При работе следует пользоваться предохранительным поясом.

При проведении земляных работ необходимо соблюдать требования действующих СНиП "Безопасность труда в строительстве".

Работник из числа оперативного персонала, получивший разрешение (распоряжение) на включение электроустановки после полного окончания работ, должен перед включением убедиться в готовности электроустановки к включению (проверить чистоту рабочего места, отсутствие инструмента и т.п.), снять временные ограждения, переносные плакаты безопасности и заземления, установленные при подготовке рабочего места оперативным персоналом, восстановить постоянные ограждения.

Допускающему из числа оперативно-ремонтного персонала может быть предоставлено право после окончания работы в электроустановке включить ее без получения дополнительного разрешения или распоряжения. Право на такое включение может быть дано только в том случае, если к работам на электроустановке или ее участке не допущены другие бригады.

В аварийных случаях оперативный персонал или допускающий могут включить в работу выведенное в ремонт электрооборудование или электроустановку в отсутствие бригады до полного окончания работ при условии, что до прибытия производителя работ и возвращения им наряда на рабочих местах расставлены работники, обязанные предупредить производителя работ и всех членов бригады о том, что электроустановка включена и возобновление работ запрещается.

3.5 Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;

- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Ответственными за безопасное ведение работ являются:

выдающий наряд, отдающий распоряжение, утверждающий перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации определяет необходимость и возможность безопасного выполнения работы. Он отвечает за достаточность и правильность указанных в наряде (распоряжении) мер безопасности, за качественный и количественный состав бригады и назначение ответственных за безопасность, а также за соответствие выполняемой работе групп перечисленных в наряде работников;

- ответственный руководитель работ назначается, как правило, при работах в электроустановках напряжением выше 1000 В. Он отвечает за выполнение всех указанных в наряде мер безопасности и их достаточность, за принимаемые им дополнительные меры безопасности, за полноту и качество целевого инструктажа бригады, в том числе проводимого допускающим и производителем работ, а также за организацию безопасного ведения работ;

- допускающий отвечает за правильность и достаточность принятых мер безопасности и соответствие их мерам, указанным в наряде, характеру и месту работы, за правильный допуск к работе, а также за полноту и качество проводимого им инструктажа членов бригады;

- производитель работ;
- наблюдающий должен назначаться для надзора за бригадами, не имеющими права самостоятельно работать в электроустановках;
- член бригады.

3.6 Работа в зоне влияния электромагнитного и магнитного полей

В электроустановках всех напряжений должна быть обеспечена защита

работающих от биологически активного магнитного поля (электрическое и магнитное поля, напряженность которых превышает допустимое значение.), способного оказывать отрицательное воздействие на организм человека.

Допустимая напряженность неискаженного электрического поля составляет 5 кВ/м. При напряженности электрического поля на рабочих местах выше 5 кВ/м (работа в зоне влияния электрического поля) необходимо применять средства защиты.

Допустимая напряженность (Н) или индукция (В) магнитного поля для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия в зависимости от продолжительности пребывания в магнитном поле определяется в соответствии с таблицей 3.2.

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью магнитного поля общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

Таблица 3.2 – Допустимые уровни магнитного поля

Время пребывания (час)	Допустимые уровни магнитного поля Н (А/м) / В (мкТл) при воздействии	
	общем	локальном
≤1	1600/2000	6400/800
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Уровни электрического и магнитного полей должны определяться во всей зоне, где может находиться персонал в процессе выполнения работ, на маршрутах следования к рабочим местам и осмотра оборудования.

В качестве средств защиты от воздействия электрического поля должны применяться: в ОРУ - стационарные экранирующие устройства по ГОСТ 12.4.154-85 и экранирующие комплекты по ГОСТ 12.4.172-2014

сертифицированные органами Госстандарта России; на ВЛ экранирующие комплекты (те же, что в ОРУ). В качестве мер защиты от воздействия магнитного поля должны применяться стационарные или переносные магнитные экраны.

4. Экономическая часть

Целью исследования является разработка породоразрушающей машины с новым приводом подачи. Для этого были проведены исследования ранее существующих приводов подач. На основе исследования была создана лабораторная установка породоразрушающей машины с электромагнитным приводом. Данная установка позволит привести ряд испытаний для разработки принципиально новой адаптивной системы подачи бурового става. Предполагается, что данная система будет более эффективной при бурении сложных пород и бурении на высоких скоростях и на большую глубину залегания пород. А так же позволит исключить недостатки действующих систем механизмов подачи.

4.1 Расчет затрат на изготовление и создание стенда

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;
- страховые взносы в государственные внебюджетные организации;
- амортизация основных средств.

Таблица 4.1 – Расчет стоимости материалов, необходимых для изготовления стенда

Наименование	Количество	Всего затрат, руб.
Уголок 45*45*5	18 м.	1296
Обмоточные медные провода d-0.62	8 кг.	8000
Хомуты	2 шт.	200
Ролики	4 шт.	600
Труба 1200*50*4	1 шт.	500
Столешница для приборов 1000*500*15	1 шт.	200
Электротехнический картон	1 шт.	230

Продолжение таблицы 4.1

Наименование	Количество	Всего затрат, руб.
Измерительные приборы	4 шт.	1200
Болты М8*8	10 шт.	80
Ручной насос	1 шт.	250
Краска (эмаль) 0.75мл	2 шт.	240
Электроды	50 шт.	260
Отрезные диски	3 шт.	108
Манометр	1 шт.	100
Соединительные провода	-	1000
Клемы	24 шт.	180
Итого	-	14444

4.2 Расчет заработной платы рабочих

В таблице 4.2 представлен расчёт заработной платы.

Таблица 4.2 – Расчёт заработной платы

Должность	Количество отработанных часов	Стоимость отработанного часа, руб.	Заработная плата, руб.
Сварщик	16	105	1680
Слесарь	4	97	800
Электрик	50	120	6000
Итого	-	-	8480

Страховые взносы в ГВФ: это 30,2% от заработной платы работника.

$$C_{Tr.Cв} = 1680 * 0,302 = 507,4 \text{ руб.}$$

$$C_{Tr.Cл} = 800 * 0,302 = 241,6 \text{ руб.}$$

$$C_{Tr.Эл} = 6000 * 0,302 = 1812 \text{ руб.}$$

Итого: общие страховые взносы в ГВФ составляют 2561 рубля.

Амортизационные отчисления.

Ежегодную сумму амортизационных отчислений рассчитывают следующим образом:

$$A = \frac{C_{перв} \times H_a}{100},$$

где A – ежегодная сумма амортизационных отчислений; $C_{перв}$ – первоначальная стоимость объекта; H_a - норма амортизационных отчислений.

Норма рабочего времени на 2017 год при 40-часовой рабочей недели - 1986 часов.

Таблица 4.3 – Расчет амортизации основных средств

Объект основных средств	Первоначальная стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Сумма годовой амортизации, руб.	Амортизация за период работы, руб.
Сварочный аппарат	8000	10	800	4.43
Шлейф. машинка	5500	10	550	2,19
Токарный станок	200000	10	20000	91,32
Итого				97.94

Смета суммарных затрат на изготовление стенда представлена в таблице 4.4:

Таблица 4.4 - Смета затрат на изготовление стенда

Элементы	Сумма, руб.
Материалы:	14444
Заработная плата:	8480
Страховые взносы в ГВФ	2561
Амортизационные отчисления	97.94
Всего:	25582.94

Итак, разработана сетевая модель выполнения работы. Критический путь составляет 75 дней, что свидетельствует о выполнении работы в установленный учебным графиком срок. Составлена смета затрат на выполнение работы, равная 25582.94 рубля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения дипломной работы мною были исследованы проблемы преждевременного износа бурового инструмента при бурении сложноструктурных горных пород. А также проведен анализ конструкции привода рабочего органа бурового станка и разработана адаптивная система подачи бурового става.

Исследуя опыт бурения были сделаны следующие выводы:

1. При бурении сложноструктурных пород, имеющих слои с разными показателями буримости, напряжение в различных элементах бурового инструмента зависит от первоначального уровня показателя буримости и величины прироста показателя буримости. Увеличение напряжения возникает при переходе на более крепкую породу и достигает до 50 % и более.

2. Увеличение напряжения зависит от отношения прироста показателя буримости к первоначальному значению показателя буримости. При условии одинакового прироста показателя буримости напряжение будет больше в том случае, если первоначальное значение показателя буримости было меньше.

3. Предел прочности материала тел качения шарошечных долот при бурении сложноструктурных пород должен быть на 50 % больше напряжения, возникающего в телах качения шарошечных долот при бурении породы с неизменным значением показателя буримости 5–7,5.

4. Представленные расчетные зависимости наглядно показывают, что при бурении сложноструктурных пород с неизменными параметрами режима бурения снижает стойкость буровых долот в 2 и более раз.

5. При бурении сложноструктурных горных пород необходимо контролировать в постоянном режиме физико-механические свойства породы и регулировать параметры режима бурения.

Анализируя конструкцию привода рабочего органа бурового станка и разработав адаптивную подающую систему был выявлен ряд преимуществ перед гидравлической канатно-полиспастной системой, такие как:

- увеличение мощности подающей системы бурового става;
- упрощение конструктивной особенности (замена 2-х громоздких гидроцилиндров и сложной канатно-полиспастной системы на асинхронный трехфазный линейный двигатель);
- уменьшение, либо полное исключение износа бурового органа подающей системы;
- возможность автоматизации технологического процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Паспорт бурового станка. Станок СБШ-250МНА-32. ТУ 3541-100-00211044-93. Техническое описание и инструкция по эксплуатации: Техническое описание 091-00.00.0000 ТО, Часть 1.
2. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ: Учебное пособие. – 4-е изд. – М.: изд-во МГГУ. 2001. – 422 с.
3. Буткин В.Д., Гилёв А.В. и др. Проектирование буровых инструментов для открытых горных, земляных и строительных работ: монография. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 240 с.
4. Буткин В.Д., Гилев А.В. и др. Проектирование буровых долот для открытых, земляных и строительных работ: монография – М.: Макс Пресс, 2005. – 240 с.
5. Гилев А.В., Шигин А.О. и др. Методы расчетов прочности при проектировании рабочих органов буровых станков // Современные наукоемкие технологии, № 1, 2011. – 3 с.;
6. Виноградов В.Н. и др. О критерии усталостной прочности зубьев шарошек / Долговечность газонефтепромыслового оборудования и инструмента. Труды МИНХиГП, вып. 81 – М.: – Недра, 1968. – С. 20-25.
7. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах. Под ред. В.А. Перетолчина. – М.: Недра, 1993. – 286 с.
8. Трубецкой К.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро. 1994. – 599 с.
9. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т.2. – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001, 2001. – 912 с.
11. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. – М.: Высш

шк. 1996. –638 с.

12. Электрические машины: Машины переменного тока / А.И. Вольдек, Д.А. Попов. – СПб.: Высш. шк.; Питер, 2007. – 350 с.

13. Гилев А.В., Шигин А.О. и др. Адаптивная система подачи рабочих органов буровых станков // Фундаментальные исследования, № 11, 2010. - 4 с.

14. Шигин А.О. Основные принципы адаптивной системы подачи рабочих органов буровых станков // Вестник машиностроения, № 5, 2011. – 3 с.